



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**“Calidad del agua de uso agrícola en la cuenca media
del río Jequetepeque, Perú”**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias
Ambientales con mención en Gestión y Ordenamiento Ambiental
del Territorio

AUTOR

Ana Marlene GUERRERO PADILLA

ASESOR

Carlos Francisco CABRERA CARRANZA

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Guerrero, C. (2019). *Calidad del agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú*. Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias Ambientales con mención en Gestión y Ordenamiento Ambiental del Territorio. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

AUTOR: ANA MARLENE GUERRERO PADILLA

Código Orcid del autor: <https://orcid.org/0000-0003-0008-3785>

AUTOR: Dr. CARLOS FRANCISCO CABRERA CARRANZA

Código Orcid del asesor: <https://orcid.org/0000-0002-5821-5886>

D.N.I. del autor: 17896399

Grupo de Investigación:

Institución que financia parcialmente o totalmente la investigación:

Financiamiento de la investigación fue con recursos propios

Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación: Debe incluir localidades y coordenadas geográficas:

La cuenca del río Jequetepeque está ubicada entre los 7°6' y 7°30' L.S. y los 78°30' y 79°40' L.O., en la costa Norte del Perú perteneciente a la Vertiente Occidental

Año o rango de años que la investigación abarcó: años 2017-2019



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los veintinueve días del mes de octubre del 2019, siendo las 14:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 767/UPG-FIGMMG/2019 del 23 de octubre del 2019, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TITULO

«CALIDAD DEL AGUA DE USO AGRÍCOLA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO JEQUETEPEQUE, PERÚ»

Que, presenta la Bach. **ANA MARLENE GUERRERO PADILLA**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO**.

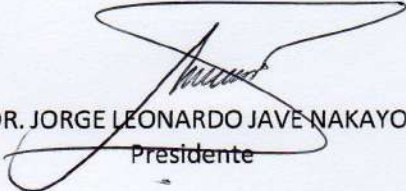
El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 05988-FIGMMG-2017 del 15 de julio del 2017, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

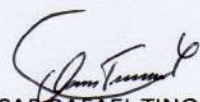
Luego de la Sustentación y la calificación de la Tesis se realizará de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente en conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole a la graduando la siguiente calificación:


..... *Muy bueno (17)*


Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO** a la Bach. **ANA MARLENE GUERRERO PADILLA**.

Siendo las 15:00 horas, se dio por concluido al acto académico.


DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
Presidente


DR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ
Secretario


DR. FRANCISCO ALEJANDRO ALCÁNTARA BOZA
Miembro


DR. CARLOS FRANCISCO CABRERA CARRANZA
Asesor

A la memoria de mi señor padre que en vida fue,

DELFIN GUERRERO VÁSQUEZ

Q.P.D. y D.G.

Con gratitud y cariño por su apoyo incondicional
en todos los días de mi vida

A la memoria de mi hermana la que en vida fue

ARLYS LILIANA GUERRERO PADILLA

Q.P.D. y D.G.

Con su cariño y por compartir su alegría de vivir

DEDICATORIA

A mis hijos **JUAN CARLOS y KIMBERLY**

quienes con su cariño, comprensión y

por ser la razón de mi vida

A mi esposo **JOSE CARLOS** quien

por su cariño y apoyo incondicional

en el logro de mis metas

A mi madre **YSABEL MARINA** por

su cariño y constante e incondicional

apoyo que estimulan mi superación

A mis hermanas **MIRTHA y DANY**

por su apoyo y compartir alegrías,

tristezas y sueños de superación

AGRADECIMIENTOS

De manera especial a mi asesor Dr. Carlos Francisco Cabrera Carranza quien por su enseñanza, asesoramiento y orientación profesional ha sido posible el desarrollo de la presente tesis a fin de obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias Ambientales.

Al Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez, mi agradecimiento, por haberme brindado sus valiosos aportes críticos y conocimientos para la redacción de la presente tesis.

Con agradecimiento muy especial a mis profesores de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por compartir sus conocimientos y enseñanzas durante el desarrollo de los estudios de la Maestría en Ciencias Ambientales.

ÍNDICE

	Páginas
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	
1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos de investigación	6
1.3 Justificación de la investigación	6
1.4 Objetivos de investigación	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes del problema	9
2.2 Bases teóricas	14
2.3 Marco conceptual	23
CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES	
3.1 Hipótesis general	26
3.2 Hipótesis específicas	26
3.3 Identificación de variables	27
3.4 Operacionalización de variables	27
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	

4.1 Tipo y diseño de investigación	29
4.2 Unidad de análisis	29
4.3 Población en estudio	29
4.4 Tamaño de muestra	30
4.5 Selección de muestra	30
4.6 Técnicas de recolección de datos	32
4.7 Análisis de interpretación de la información	37
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1 Disponibilidad hídrica	38
5.2 Calidad de agua de la cuenca	46
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.Ubicación de las estaciones de muestreo en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú, según sus coordenadas y altitud	30
Cuadro 2.Parámetros físico-químicos y bacteriológicos según métodos para su determinación en la evaluación de la calidad de agua	36

Cuadro 3. Test para normalidad multivariada en relación de la oferta hídrica de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	43
Cuadro 4. Programa de Spearman, stats (ρ p) pw en relación de la oferta hídrica de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	43
Cuadro 5. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas según oferta hídrica de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	44
Cuadro 6. Test para normalidad multivariada en relación de la demanda bruta de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	44
Cuadro 7. Programa de Spearman, stats (ρ p) pw en relación de la demanda bruta de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	44

Cuadro 8. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas según demanda bruta de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	44
Cuadro 9. Test para normalidad multivariada en relación de la demanda agrícola de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	45
Cuadro 10. Programa de Spearman, stats (rho p) pw en relación de la demanda agrícola de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	45
Cuadro 11. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas según demanda agrícola de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018	45
Cuadro 12. Valores encontrados en Puente Kuntur Wasi (Estación 1) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	48

Cuadro 13. Valores encontrados en Sector La Mónica (Estación 2) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	49
Cuadro 14. Valores encontrados en Sector La Capilla (Estación 3) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	50
Cuadro 15. Valores encontrados en el cacerío Yatahual (Estación 4) en la cuenca del río Jequetepeque, Perú	51
Cuadro 16. Valores encontrados en el cacerío El Pongo (Estación 5) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	52
Cuadro 17. Valores encontrados en Puente Yonan (Estación 6) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	31
Figura 2. Oferta hídrica real y al 75% de persistencia en la cuenca del río Jequetepeque, durante los meses de agosto 2017 a julio 2018	40

Figura 3. Oferta hídrica programada, ejecutada y la diferencial en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018	40
Figura 4. Demanda bruta de todos los usos programados y ejecutados en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018	41
Figura 5. Demanda bruta de todos los usos y su diferencial en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018	41
Figura 6. Demanda agrícola de todos los usos programados y ejecutados en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018	42
Figura 7. Demanda agrícola de todos los usos y su diferencial en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018	42
Figura 8. Promedios de la temperatura del agua en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	55

Figura 9. Valores promedio de pH en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	56
Figura 10. Valores promedio de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	59
Figura 11. Valores promedio de sólidos totales disueltos (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	61
Figura 12. Valores promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	63
Figura 13. Valores promedio de demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	65
Figura 14. Valores promedio de calcio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	66
Figura 15. Valores promedio de magnesio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	68

Figura 16. Valores promedio de sodio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	70
Figura 17. Valores promedio de carbonatos (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	71
Figura 18. Valores promedio de bicarbonatos (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	73
Figura 19. Valores promedio de cloruros (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	74
Figura 20. Valores promedio de índice RAS en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	76
Figura 21. Valores promedio de plomo (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	78
Figura 22. Valores promedio de cadmio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	79

Figura 23. Valores promedio de coliformes totales (NMP/100ml) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	81
Figura 24. Valores promedio de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	82
ANEXOS	
ANEXO 1: Ubicación de estaciones meteorológicas	99
Figura 25. Ubicación de estación meteorológica Yonan, La Libertad, Perú	100
Figura 26. Ubicación de estación meteorológica Puente Chilete, La Libertad, Perú	100
ANEXO 2: Fotografías de la zona de estudio y análisis de muestras	101
Figura 27. Estación Puente Kuntur Wasi (E-1) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	102
Figura 28. Estación Sector La Mónica (E-2) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	103
Figura 29. Estación Sector La Capilla (E-3) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	104

Figura 30. Estación Caserío Yatahual (E-4) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	105
Figura 31. Estación Caserío El Pongo (E-5) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	106
Figura 32. Estación Puente Yonan (E-6) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú	107
Figura 33. Determinación de carbonatos (CO_3^{2-}) en el laboratorio de Ecología y Contaminación Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo	108
Figura 34. Determinación de bicarbonatos (HCO_3^{-1}) en el laboratorio de Ecología y Contaminación Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo	109
Figura 35. Determinación de cloruros (Cl^{-1}) en el laboratorio de Ecología y Contaminación Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo	110
Figura 36. Determinación de coliformes totales y termotolerantes en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Trujillo	111

Figura 37. Equipos de los laboratorios
de Ecología y Microbiología de la
Universidad Nacional de Trujillo

A) estufa con cultivos de coliformes

B) estufa C) horno D) autoclave

112

Figura

38. Equipos de campo marca
HANNA multiparámetros para la
determinación de pH, temperatura, conductividad,
sólidos totales disueltos (A, B) y equipo para la
determinación de oxígeno disuelto, demanda
bioquímica de oxígeno, presión atmosférica,
temperatura (C, D)

113

ANEXO 3: Ubicación de las estaciones de

Muestreo de la cuenca media del río

Jequetepeque, Perú

114

RESUMEN

La presente investigación tuvo como principal objetivo determinar la calidad del agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú. Se ubicaron seis estaciones de muestreo estación de muestreo (Puente Kuntur Wasi, Sector La Mónica, Sector La Capilla, Cacerío Yatahual, Cacerío El Pongo y Puente Yonan) en de la cuenca media del río Jequetepeque, de diciembre del 2018 a mayo del 2019, se evaluó parámetros físico-químicos (APHA, 2012) y bacteriológicos (NMP/100ml) y se determinó el índice RAS. Encontrándose que el agua de la zona de estudio puede usarse sin restricciones para los diferentes cultivos de la zona de estudio, no superó los Estándares de Calidad de Agua, de acuerdo a los Estándares de Calidad de agua D.S. N°004-2017-MINAM, según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales. La calidad bacteriológica, en la cuenca media del río Jequetepeque es alterada moderadamente por las aportaciones o vertimientos de origen doméstico. Es importante indicar que los valores promedios de coliformes termotolerantes, superaron los estándares de calidad ambiental (1000 NMP/100 ml). El índice de RAS se encontró valores menores a 3, lo cual no es limitante para la actividad agrícola. Es de gran importancia realizar estudios de calidad de agua en las cuencas hidrográficas del país, en especial, la determinación de la calidad del agua para el riego por el potencial efecto sobre la salud humana y en los ecosistemas.

Palabras clave: *calidad de agua, cuenca Jequetepeque, índice RAS*

ABSTRACT

This research had the main objective to determine water quality for agriculture used in Jequetepeque middle basin river, Peru. Six sampling station were located (Puente Kuntur Wasi, Sector La Mónica, Sector La Capilla, Cacerío Yatahual, Cacerío El Pongo y Puente Yonan) from december 2018 to may 2019; physical-chemical (APHA, 2012) and bacteriological parameters (NMP/100 ml) were evaluated, and also the RAS index was determinated. In the study area the water can be used without restrictions for the different crops, due to do not exceed Water Quality Standards, according to the Supreme Decree N°004-2017-MINAM, according to Category 3: Vegetable irrigation and animals drink, and D1 Vegetable irrigation. In reference to bacteriological quality, the Jequetepeque middle basin river, it is moderately altered by the contributions or spills of domestic origin. It is important to indicate that the average values of thermotolerant coliforms were exceeded the environmental quality standards (1000 NMP/100 ml). The RAS index found values lower than 3, which indicates that it is not limiting for agricultural activity. It is of great importance to carry out water quality studies of the rivers basin in the country, especially the determination of the quality of water for irrigation in consequence to the potencial effect on human health and the ecosystems.

Keywords: *water quality, Jequetepeque river, RAS index*

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

El río Jequetepeque está ubicado en la Provincia y Región Cajamarca, a los 07°20' de L.S. y 78°21' de L.O, nace en la pequeña laguna, al pie del Cerro Agopití hacia los 4000 m.s.n.m. aproximadamente. La cuenca recorre unos 150 Km de este a oeste, desde los 4000 m.s.n.m.; colecta en su trayecto el drenaje de más de 30 ríos secundarios, riachuelos y pequeñas quebradas, los cuales, aguas abajo se embalsa en la represa denominada Gallito Ciego. El agua represada abastece del recurso para sus diferentes usos, en especial, consumo humano, agrícola y ganadera. La represa Gallito Ciego fue concebida en su diseño y construcción para una vida útil de 50 años. Desafortunadamente, no se ha realizado un manejo adecuado del recurso hídrico, produciéndose grandes volúmenes de sedimentos, el cual viene colmatándose y por ende, reduciendo la vida útil para la que fue diseñada. La cuenca del río Jequetepeque es considerada un macro sistema teniendo 648 000 hectáreas, desde la línea divisoria continental de las vertientes del Océano Pacífico y del Atlántico hasta el litoral marino en el Océano Pacífico. Estudios geomorfológicos realizados en la cuenca del río Jequetepeque se determinó que presenta tres regiones macro morfo-estructurales de la subregión occidental que conforma el escenario geográfico del Perú; la región marina litoral, la costa y la cordillera andina. Estas unidades geomorfológicas se encuentran muy relacionadas y al mismo tiempo pueden ser claramente identificadas, cuyas características permiten que la cuenca se desarrolle como un ecosistema muy complejo.

Los principales tributarios del río Jequetepeque se extienden entre los 600 y los 2500 m.s.n.m. Las formaciones vegetales permiten determinar la composición florística, estratos vegetales, dejando algunos espacios

aislados unos de otros, dando lugar a las plantas herbáceas, formando así un hermosos paisajes, en concordancia con los estratos y formaciones geológicas.

El río Jequetepeque es el resultado de la confluencia de los ríos Puclush y Magdalena, los mismos que se unen a la altura del Cacerío Llallán, en la cota 710 m.s.n.m. aproximadamente. Aguas abajo, recibe los aportes del río Pallac por la margen derecha y de la quebrada Chausis por la margen izquierda. El sistema hidrográfico de la Sub cuenca Puclush es la que presenta el mayor aporte, volúmenes de agua al río Jequetepeque debido a las precipitaciones de la cuenca alta, en esta zona existe formación de algunas de lagunas y vegetación arbórea, arbustiva y de pastos. El río Magdalena nace en las alturas de Huacarucro, inicialmente recibe los aportes del río Chotén y el río Naranjo por la margen derecha y el río Asunción por la margen izquierda; en la cota 1600 m.s.n.m. aproximadamente, toma el nombre de río Magdalena a la altura de Choropampa; los ríos: La Viña, Chetillano y Llaminchan o San Pablo, son los principales afluentes por la margen derecha; los siguientes afluentes: río Chonta, río Huertas y río Contumazá, por la margen izquierda.

Se destaca el yacimiento minero de Yanacocha ubicado en la provincia de Cajamarca, cuya mayor actividad minera es la extracción de oro, y el empleo a tajo abierto, por lo que se produce una alta contaminación minera, deterioro y desertificación de suelos y contaminación de agua en sus principales fuentes (lagunas), sin embargo se puede afirmar al mismo tiempo que esta actividad contaminante en todo sentido contribuye al desarrollo económico del país, en especial si se piensa en centralismo, y como se puede confirmar paradójicamente, no se ha logrado dinamizar la economía de la Región Cajamarca, justo de donde procede este valioso mineral (materia prima), se puede decir que la producción o desarrollo minero sostenible no se da, solo se logra que se dinamice la economía urbana de la capital y repercutiendo impactos negativos sobre la cuenca

del Jequetepeque por su ubicación en los límites de las cuencas del Cajamarquino, Jequetepeque y el Llaucano. La minera Yanacocha, dará inicio a la explotación del Cerro Negro ubicado en la cuenca del Jequetepeque. En lo que respecta al sector empresarial, evidentemente la minera Yanacocha, es un actor importante e influyente en la región tanto así, que el mismo Plan antes referido hace especial referencia a dicha institución y su participación en el desarrollo local. La capacidad de influir en la toma y adopción de decisiones de la minera es reconocida ampliamente en Cajamarca y hasta cuestionada por el gobierno local, regional que generan opinión pública y en los últimos años enfrentamientos entre el poder político, económico y el pueblo, éste es el más desprotegido por el desconocimiento de lo que realmente sucede en las características de los recursos hídricos y las consecuencias futuras. Frente a esto la población, mantiene una actitud ambigua: unas veces expectante, otras veces pasiva, otras críticas, en forma indiferente. Otros grupos sociales importantes en la región son las instituciones no gubernamentales y algunos esfuerzos aislados por tratar de hacer de conocimiento de la verdad, pues estamos en un país tercer mundo y para verlo con un enfoque más llevadero por el término se dice: “país en vías de desarrollo”, la pregunta es para quien o quienes?. Ya que el poder está centralizado en menos del 1% de la población privilegiada del país. Esto se debe a la desinformación y la ignorancia, un país que no es educado, fácilmente se le puede extraer sus recursos naturales.

En la gran mayoría las cabeceras de cuencas, se concentran las fuentes de agua, ríos y manantiales, asimismo las actividades productivas se encuentran en aumento, por tal razón se da Ley de Protección de Cabeceras de Cuencas (Ley N° 30640), en tanto, el gobierno debería realizar estudios detallados en relación al uso y aprovechamiento de los recursos hídricos. En el Perú, la Estrategia Nacional para la Gestión de los Recursos Hídricos Continentales, establece la protección de la calidad de los recursos hídricos, por lo que, es necesario implementar los mecanismos para la protección de las cuencas hidrográficas y acuíferos. La calidad del

agua se deteriora principalmente por el vertido de relaves mineros con evidente presencia de metales pesados, los cuales no tienen tratamiento alguno antes de ser evacuados a las cuencas hidrográficas, esto ocurre en los ríos Mantaro, Rímac, Santa, Moche e Ilo, entre los principales, los cuales presentan contaminación química o minera que causan desaparición de fauna y flora, en consecuencia, pérdida de la biodiversidad (INRENA, 2003).

El agua en la cuenca del río Jequetepeque tiene uso poblacional, agrícola, pecuario e industrial; de los cuales, el uso agrícola es de mayor demanda, uso de grandes volúmenes de agua, luego el uso poblacional, industrial, minero e hidroenergético. Es necesario resaltar que en la cuenca existen numerosas reservas de minerales a pequeña escala, sin embargo presentan un valioso potencial para el desarrollo de la zona, por ejemplo en San Miguel existen canteras de caliche-arcilla para la elaboración de tejas y ladrillo, y en Coshuro (distrito de Calquis), existe una mina de hierro y plata descubierta en 1868, las cuales para sus actividades hacen uso de las aguas del río Jequetepeque.

El río Jequetepeque está afrontando graves problemas de contaminación, por los vertimientos de efluentes directamente al río, contribuyendo al deterioro de la calidad del agua. Esto es muy preocupante, teniendo en cuenta que este recurso es usado en el consumo humano, riego y ganadería. Aguas abajo de la represa Gallito Ciego existe actividad agrícola y pecuaria. Para que una sociedad implemente los arreglos adecuados, se requiere de una política del agua de gran visión y con un enfoque que cuenca a fin de poder realizar una propuesta de la gestión de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Jequetepeque, Perú.

A lo largo de la cuenca existen vertimientos antropogénicos, procedentes de la actividad agrícola y domésticos que son vertidos directamente en la cuenca. Estos vertimientos alteran la calidad del agua, generando contaminación del recurso y limitando su uso. Por lo que es pertinente realizar estudios en relación a la calidad y uso del agua, para el aprovechamiento adecuado de la cuenca del río Jequetepeque.

La relevancia de determinar la calidad del agua para riego con fines de poder predecir su efecto sobre el suelo y su bioacumulación en los cultivos (Rashidi & Seilsepuor, 2011), siendo vital determinar la concentración cualitativa y cuantitativa de los iones en solución, principalmente los iones que causan contaminación y los que originan la formación de sales con alta toxicidad, las cuales podrían ser bioacumulables y perder redes tróficas.

La calidad del agua para uso agrícola depende de la concentración de diferentes parámetros físico-químicos y de su efecto sobre el suelo y sobre el cultivo (bioacumulación). En la conservación de la calidad y productividad de los suelos agrícolas, se debe evaluar y monitorear la calidad del agua para irrigación, la cual es función principalmente de la concentración total de sales solubles, proporción de sodio con respecto a otros cationes, la relación entre la concentración de bicarbonatos y la dureza, de la selección de parámetros a evaluar y a la necesidad e importancia de realizar el estudio de la cuenca media del río Jequetepeque, y el adecuado uso del agua en la actividad agrícola.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál será la calidad del agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú?

1.2.2 Problemas específicos

¿La disponibilidad hídrica de la cuenca afectará el uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú?

¿Cuáles serán los valores encontrados de los parámetros físico-químicos en la determinación de la calidad de agua de uso agrícola y el índice RAS en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú?

¿Cuál será la calidad bacteriológica (coliformes totales y termotolerantes) que afectan la calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú?

1.3 Justificación de la investigación

En el Perú, la calidad de agua de las cuencas hidrográficas se ha visto afectada principalmente por las múltiples explotaciones mineras, cuyos efluentes son directamente vertidos sin ningún tratamiento a las cuencas hidrográficas, como son el caso de las ríos Mantaro, Rímac, Santa e Ilo; causando contaminación de sus aguas y como consecuencia deterioro de la calidad de las aguas y pérdida de la flora y fauna.

Existen proyectos agrícolas de gran envergadura para el desarrollo del país, pero desafortunadamente, son muchos los casos donde carecen de un adecuado manejo de los proyectos de riego, trayendo consecuencias negativas sobre las comunidades, cuyo objetivo primordial era alcanzar el desarrollo económico, social y ambiental sostenible. La complejidad de las interacciones de los procesos ambientales y el desarrollo de los sistemas de riego y drenaje, presentan alta dificultad de predicción de tipos de impacto y/o cambios en la naturaleza. Sin embargo, actualmente con los estudios a nivel de detalle, estratégicos, económicos, ambientales, se podría manejar y controlar las diferentes interacciones de las actividades humanas, áreas agrícolas y los recursos hídricos a ser usados en las diferentes actividades, evitando los posibles impactos negativos a producirse en la zona de desarrollo.

Es necesario conocer el estado situacional de la cuenca del río Jequetepeque, con énfasis en la parte media, evaluando la oferta y demanda hídrica, calidad de agua en el escenario de eventos hidrológicos, cuyos resultados permitirá contar con información básica en la toma de decisiones de las autoridades a distintos niveles y proponer una gestión integrada de la cuenca del río Jequetepeque.

Es de gran relevancia determinar el impacto en la actividad de las actividades desarrolladas que afecten la calidad del agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú. Por lo anteriormente expuesto, es necesario realizar un enfoque a largo plazo y supone y garantice una visión completa e integrada del significado de las actividades agrícolas asociada a la calidad del agua y contribuir en el manejo de la calidad del agua de uso agrícola de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

- Determinar la calidad del agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jequetepeque, Perú.
- Evaluar los parámetros físico-químicos y el índice RAS en la determinación de la calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú, según los Estándares de Calidad (ECA) D.S. N°004-2017-MINAM.
- Determinar la calidad bacteriológica (coliformes totales y termotolerantes) que afectan la calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

El funcionamiento de los ecosistemas naturales de la cuenca de un río incluye los sistemas acompañantes de tierra húmeda y aguas subterráneas que son fuentes de agua fresca. Entre otros aspectos, se puesta por: un manejo de cuenca que incluya el mantenimiento del funcionamiento de los ecosistemas como una meta prioritaria, la formulación de planes para prevenir daños irreparables al medioambiente reduciendo el potencial peligro del daño por aludes, inundaciones y sequías. Se argumenta por: la necesidad de proteger la cuenca frente a los arqueos debido al crecimiento de los drenajes salvaguardando así la vida y propiedades de los ciudadanos, por la mejora de las áreas de influencia. Se demanda una visión de largo plazo para la cuenca con el compromiso de todos los actores, la integración de políticas, decisiones estratégicas y costos a través de los sectores de interés tales como, la industria, agricultura, desarrollo urbano, los encargados de las estrategias para reducción de la pobreza. Todas las acciones en dirección hacia el aseguramiento de la sostenibilidad del desarrollo del recurso hídrico.

Dourojeanni (2003) menciona que la gestión integrada del agua es una gestión de conflictos debido a que en toda situación de manejo del agua, hay detrás una gran cantidad de diversidad cultural, social y económica de los distintos usuarios. Y aunque el conflicto es un elemento normal y cotidiano de la interacción social humana, es su ineficiente o falta de resolución lo que hace que los desencuentros y desacuerdos entre los usuarios se conviertan en una problemática más generalizada y particular que genera conflictos. Dourojeanni *et al.* (2002) consideran que el proceso de avance conceptual en el tema de gestión del agua ha llevado a la incorporación de conceptos innovadores, pasando del enfoque de uso

sectorial al enfoque de uso multisectorial, y actualmente, a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Los recursos hídricos juegan un rol vital en el desarrollo de la economía, la agricultura, industria y finalmente el desarrollo sostenible de los pueblos. La disponibilidad y la calidad del agua, superficial o subterránea, se ha deteriorado por el incremento de la población, la industrialización y la urbanización (Tyagi *et al.*, 2013), en tal sentido la disponibilidad y calidad de las aguas son indicadores empleados para calcular el índice de sostenibilidad ambiental que considera la habilidad de los países para proteger el medio ambiente en las próximas décadas (Balmaseda & García, 2013). El recurso agua está sometido a la presión de una demanda cada vez más exigente en cantidad y calidad, condicionada por aspectos sociales, políticos y ambientales (Roldan *et al.*, 2010), para lograr la gestión integrada del recurso hídrico, se debe disponer de fuentes de información oportunas en cuanto a la calidad del agua (Bermejillo *et al.*, 2012)

Las características fisicoquímicas y biológicas del agua varían por la contaminación antropogénica, aunado con los procesos y fenómenos naturales, hacen que sus propiedades fisicoquímicas y biológicas varíen ampliamente de tramo en tramo a lo largo de la cuenca (Gómez *et al.*, 2007). Y por la alta demanda de agua, es relevante determinar su calidad para consumo humano, uso agrícola, industrial, acuicultura y conservación de la biodiversidad, así como el uso del mismo para la recreación y estética (Rivera *et al.*, 2009). En consecuencia, es importante tener presente que la calidad de los recursos hídricos están muy relacionados con el bienestar social y el desarrollo económico de los pueblos, de ello depende, el desarrollo y bienestar de las generaciones actual y futuras (Ocampo-Duque *et al.*, 2013), así como el equilibrio de los ecosistemas, de las diversas fuentes de agua; cuyos servicios ambientales, permitirán la gestión integrada de los recursos hídricos, que incluye el manejo, control y gestión del agua, y sus usos como actividades agropecuarias, silvicultura, ganadería, actividades industriales para el

control y manejo de efluentes y de la contaminación (Pawar, 2013; Gyawali *et al.*, 2013)

Sutadian *et al.*(2016) y Medeiros *et al.*(2017) (citado en Pérez *et al.*, 2018), afirman que la calidad de agua es uno de los temas más importantes en la gestión de recursos hídricos y su clasificación está basada en el grado de pureza y contaminación, para ello se debe evaluar desde las características físicas, químicas y biológicas (Rangeti *et al.*, 2015 citado en Pérez *et al.*, 2018). Debido a la variedad de factores y parámetros que afectan la calidad de agua, permite que ésta sea compleja la evaluación final; en ese sentido, fue necesario el uso de indicadores de calidad de agua, los cuales son una herramienta muy útil para los programas de monitoreo, control y manejo del recurso hídrico. Diversos países utilizan los índices de calidad, lo cual varía enormemente de acuerdo a normatividades vigentes y/o programas o disposiciones que tienen que ver con las políticas de gobierno.

Estudios realizados en el río Amajac-México, presentaron valores superiores a la norma Mexicana, del índice de calidad de agua (I.C.A.), tales como los resultados encontrados por Álvarez *et al.* (2006), en sus valores para los sólidos solubles, sólidos totales, oxígeno disuelto y coliformes totales y fecales. Asimismo, estudios realizados en el río Santa Cruz (RSC), Sonora-México, en la época de estiaje se reportaron concentraciones muy altas de los parámetros evaluados, excepto pH (referido a la norma Mexicana). A diferencia de lo anterior, las concentraciones encontradas para los nitritos, se consideró que la calidad del agua y la presencia de la sedimento en el río Santa Cruz, Sonora, fue considerada como de buena calidad de agua (Posada *et al.*, 2000). Sarabia-Meléndez *et al.* (2014), encontraron que son dos los parámetros más importantes en la determinación de la calidad de agua de uso agrícola, la conductividad eléctrica (CE) y el Índice de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), con los cuales, se puede establecer una clasificación del agua de uso agrícola, según las normas del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos.

Estudios realizados en Colombia en el año 2000, se determinó que los parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados en la cuenca Piedras Blancas-Antioquia presentaron bajas fluctuaciones a lo largo de la cuenca en estudio, a excepción del parámetro conductividad eléctrica y los sólidos totales, cuyas variaciones estuvieron relacionados con la época de evaluación, por la pluviosidad alta durante el período de ejecución del estudio (Solís *et al.*, 2011).

En Chile, Peña (1993) manifiesta que la calidad del agua para uso agrícola se ha visto restringida debido a la cantidad de boro que presentan, especialmente en la región Altiplánica (Norte Grande), donde frecuentemente las aguas superan niveles de boro tan altos como 5.0 mg/L, afectando principalmente a cultivos sensibles a este elemento (cítricos), los cuales son afectados por concentraciones de 0.3 mg/L. Asimismo en la zona del Norte Chico, es afectada por contenido de boro en las aguas con valores cercanos a 1.5 mg/L, que siguen siendo elevados para producir limitaciones en el uso del recurso.

Reinaudi *et al.* (1998), realizó el estudio calidad del agua para riego en Invernáculos de la Región Central de La Pampa-Argentina, y encontró que la concentración de arsénico total era superior a lo permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Asimismo Báez (1999), en Buenos Aires, indicó la existencia de problemas más importantes asociados a la calidad de agua de riego son la salinización y sodificación del suelo, porque produce un deterioro de las propiedades del suelo, aunque algunos cultivos como *Triticum aestivum* “trigo” produjo rendimientos aceptables aún con niveles de salinidad relativamente elevados.

En el Perú, la Estrategia Nacional para la Gestión de los Recursos Hídricos Continentales, establece la protección de la calidad de los

recursos hídricos, es relevante la implementación de mecanismos necesarios para la protección de las cuencas hidrográficas y acuíferos. Se ha determinado fehacientemente que la calidad del agua es afectada principalmente por el vertimiento de efluentes de relaves mineros, conteniendo metales pesados, los cuales son evacuados directamente, sin tratamiento alguno, en las cuencas hidrográficas, siendo algunas de ellas, las cuencas con grandes problemas, por lo difícil de revertir el efecto e impacto negativo en los cuerpos de agua, estas son, las cuencas de los ríos Mantaro, Rímac, Santa e Ilo, entre otros, las cuales presentan gran contaminación química que causan pérdida de la biodiversidad y deterioro de ecosistemas (INRENA, 2003). En la Región La Libertad las cuencas con mayor deterioro o contaminación son los ríos Moche y Jequetepeque, presentando bioacumulación de contaminantes minero-metalúrgicos, sedimentos, así como el uso indiscriminado de agroquímicos que son causantes de pérdida de cadenas tróficas, biodiversidad y disminución de la capacidad productiva de los suelos agrícolas de los valles Moche y Jequetepeque (Juarez, 2006).

El río Jequetepeque nace entre los 07°20' de Latitud Sur y 78°21' de Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 3800 m.s.n.m, bajo el Cerro Agopití, en una pequeña laguna, en la provincia y Región Cajamarca. Al existir una represa denominada Gallito Ciego, de gran importancia porque de ella depende el abastecimiento de agua para los diferentes usos y en especial, el uso agrícola, cuyo riego es regulado. El total de las tierras agrícolas es de 42 000 ha., en el interior del valle se encuentran 36 000 ha, que están bajo riego tecnificado, en la forma pequeñas áreas agrícolas, denominadas minifundios, y 6 000 ha., cuyas tierras están ubicadas en las Pampas de Cerro Colorado, las cuales, serán incorporadas al riego tecnificado, para lograr mayor producción. Según los padrones de usuarios, se puede confirmar que el total de área para riego en el valle interior es aproximadamente 42 050 ha., de donde 32 334 ha tienen licencia y solo permiso de uso 9 716 ha.

2.2 Bases teóricas

Los diferentes ecosistemas acuáticos dan beneficios a la sociedad, por lo que deben ser evaluadas y determinar una valoración económica, en función de los mismos; cuya conservación es vital para la supervivencia de la flora y fauna, cuya biodiversidad permite que los ecosistemas se mantengan o conserven, en la búsqueda de la homeostasis o equilibrio, cumpliendo funciones esenciales en la vida del hombre (Brauma *et al.*, 2007). Los ecosistemas y entre ellos los recursos hídricos (fuentes de agua), tienen como función esencial el abastecimiento de agua para consumo humano, conservación de flora y fauna, regulación de los procesos naturales, lo que en ecología se denomina sistemas cibernéticos en equilibrio, como protección, conservación y en épocas de avenida y estiaje, permite que los recursos alcancen el equilibrio.

Desde el punto de vista hidrológico se entiende por disponibilidad de agua a la cantidad de agua que se dispone en un sistema hidrológico para abastecer la demanda de un usuario del agua. Esta cantidad puede provenir directamente de la lluvia o estar disponible en los ríos, quebradas o lagunas. La demanda de agua para uso agrícola es muy importante realizar una evaluación de la disponibilidad del agua para programar las cédulas de cultivo (planes o programas de siembra), y esto permitirá realizar un manejo de la cuenca. Cuando la disponibilidad del agua en una región está dada exclusivamente por lluvia para abastecer la demanda de los cultivos, se dice que es una “agricultura de secano”. Cuando la disponibilidad de agua se toma de flujos superficiales para regar los cultivos, estamos frente a una “agricultura bajo riego” (Vásquez *et al.*, 2016).

Científicamente se considera que es pertinente conocer la disponibilidad hídrica de una cuenca para correlacionada con los sistemas productivos (por ejemplo: actividad agrícola), de vital importancia para el desarrollo de un país (Carrascal *et al.*, 2013). Porras *et al.* (2008), afirma que se producen impactos provocados por el flujo del agua y la calidad, y en relación al uso del agua. Por lo que, se hace necesario conocer la disponibilidad hídrica de la cuenca, teniendo presente las épocas de avenida y estiaje a fin de poder relacionarlo con los procesos de dilución en caso de que ocurra una contaminación por vertimientos antropogénicos, como es el caso de la mayoría de las cuencas en nuestro país. Los diversos vertimientos, producto de la actividad del hombre son evacuados directamente a las cuencas, sin tratamiento previo, lo cual influenciaría negativamente la calidad de las aguas para los diferentes usos.

Al tratar de definir la calidad de agua, ésta es función de su uso, y los parámetros a ser evaluados. Existe correlación entre algunos de ellos como el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, la cual nos indica que son inversamente proporcionales. Cuando el oxígeno disuelto es alto (mayor a 6 mg/L), se puede considerar que es óptimo para uso o consumo humano. Sin embargo, cuando la concentración del oxígeno disminuye, existe una acidez, el pH es menor a 7, que podría llegar a (3 ó 4), esto refiere a que se ha producido contaminación por efluentes industriales, y posiblemente sólo exista organismos en anaerobiosis, los cuales desarrollan en potencial redox negativo, en consecuencia no puede ser usado para consumo humano. Por otro lado, para el uso agrícola, no sólo se evalúa la concentración de oxígeno, sino que está vinculado a otros parámetros como sodio, pH, calcio, magnesio, debido a que se evalúa el índice de absorción de sodio (RAS). Los parámetros a ser evaluados para la conservación de la biodiversidad, se tiene que tener presente los requeridos para consumo humano, pero los estándares tienen diferentes valores (Murgel, 1984).

Existe una gran complejidad en la selección de los parámetros a ser considerados en la determinación de la calidad del agua, y debido a las muchas variables y correlaciones de las mismas, a fin de poder describir el estado ecológico de los cuerpos de agua, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, en tanto, el conocimiento de la evaluación y/o determinación de la calidad de agua, a través de diversos estudios realizados por científicos se han incorporado valores, normas, límites permisibles que permitan brindarnos un valor o índice de calidad para los diferentes usos, por lo cual es necesario mejorar los estándares de calidad para analizar e interpretar las características de un cuerpo de agua. Los parámetros de la calidad del agua que con mayor frecuencia son empleados y considerados relevantes en la determinación de la calidad de agua en sus diversos usos, se puede considerar lo siguiente: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales disueltos y sólidos en suspensión, concentración de nitrógeno total como nitrato y nitrito, fósforo total, cloruro libre, conductividad eléctrica, pH, dureza como magnésica y cálcica, materia orgánica, elementos tóxicos (metales pesados, agroquímicos,) y elementos patógenos, como microorganismos (Rivera *et al.*, 2009).

En la evaluación de ecosistemas acuáticos se deber considerar: i) Las concentraciones, especificaciones y características limnológicas del cuerpo de agua, compuestos orgánicos e inorgánicos y ii) estado ecológico y biodiversidad presente en el cuerpo de agua. La calidad agua, que se encuentra en las épocas de avenida y estiaje, durante las diferentes estaciones del año, es decir considerar espacio y tiempo debido a factores externos (ambientales) e internos (físicoquímico y biológico) del cuerpo de agua.

La descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas: i) midiendo variables físicas (turbidez, sólidos totales, etc.) químicas (pH, acidez, metales pesados) o biológicas (bioindicadores). ii)

utilizando un índice de calidad de agua. Los parámetros considerados en la determinación de la calidad de agua varían en nivel de relevancia de acuerdo al uso del recurso. Los estándares de calidad para uso agrícola están vinculados o correlacionados principalmente con la salinidad, concentración de metales pesados (plomo, cadmio, mercurio, cianuro, plata, cobre, entre los principales), nitratos, nitritos, fosfatos totales, los sólidos totales suspendidos y los patógenos (coliformes totales y termotolerantes).

Los estándares de calidad de agua para ser usado en la agricultura están referidos no solo a los efectos directos que podrían causar sobre las plantas sino también efectos nocivos sobre el hombre, y además porque los diferentes elementos químicos, en especial, los metales pesados podrían acumularse en el suelo e inhibir el desarrollo de las plantas o en su defecto bioacumularse (órganos florales o vegetativos). En América Latina, países en vías de desarrollo como es el caso de Perú, los efluentes carecen de tratamiento alguno antes de ser vertidos en las cuencas hidrográficas.

La utilización de los criterios o estándares de calidad del agua permite hacer principalmente dos clases de estudios: i) Evaluar el estado ecológico del cuerpo de agua o determinar de la calidad actual del agua a nivel de detalle y ii) Determinar los usos del agua en función de la calidad de un recurso hídrico. Luego de la evaluación de los diferentes parámetros, éstos deben ser comparados con las normas internacionales y nacionales; así como estándares o normas de calidad propios, concordantes con las características del territorio o cuenca al cual se aplican, que en algunos países en especial en Europa, los estándares de calidad son de tipo obligatoria y sancionadora, lo que no sucede en Perú. Para el presente estudio se tomarán normas de calidad dadas por EPA de los Estados Unidos, denominadas Guías EPA: U.S. Environmental Protection Agency (1992) y la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338).

El riego, como cualquier tecnología agropecuaria, presenta ventajas y desventajas. Acerca de las desventajas hay varios aspectos que se deben considerar, siendo la calidad del agua una de las más relevantes por los efectos potenciales sobre la calidad de los suelos. El riego con aguas con altos contenidos de iones como sodio (Na^{+1}), magnesio (Mg^{+2}), calcio (Ca^{+2}) y carbonatos puede generar efectos acumulativos en los suelos, degradando su calidad. El sodio (Na^{+1}) es el ion de mayor preocupación, ya que al aumentar su concentración puede dispersar las arcillas del suelo, reduciendo así la capacidad de percolación/infiltración del suelo, la aireación y por lo tanto, puede perjudicar el desarrollo de los cultivos. El parámetro utilizado para evaluar la calidad del agua de riego es la tasa de absorción de sodio o SAR (abreviación inglesa de sodium absorption ratio), que corresponde al cálculo $([\text{Na}]/[(\text{Ca}+\text{Mg})/2]^{1/2})$ (Carrasco-Letelier *et al.*, 2015).

El agua de uso agrícola se evalúa por el riesgo potencial, debido a que las aguas pueden ser consideradas potencialmente peligrosas, si éstas presentan concentraciones de sales, lo cual es perjudicial, y se hace evidente cuando las aguas riegan los suelos agrícolas, haciendo que estos suelos se salinicen y en consecuencia pierdan su productividad. Cuando se produce la evaporación, el porcentaje de retención de agua en el suelo disminuye y en consecuencia es menor la humedad del suelo, no se produce la eliminación de las sales, de manera que el suelo se saliniza y se produce pérdida de agua. Si el agua de riego tiene una concentración de sales (inicial), y ésta se encuentra en los límites permisibles, pudiendo alcanzar mayor salinidad en el suelo, por la evaporación del agua. Por otro lado, la concentración de las sales pueden alcanzar el valor límite de solubilidad y en consecuencia las sales se precipitan, esto es determinado por la presencia de cationes de calcio, magnesio y sodio, aniones (cloruros), que no se encuentran en equilibrio, y tienen una relación directa con el pH, alterando las concentraciones iniciales. Esto es, cuando las sales de calcio presentan baja solubilidad, y lo que ocurre es que se

incrementan las concentraciones de sodio en el agua del suelo, así como, del porcentaje del catión sodio intercambiable (Romero, 2013).

La producción agropecuaria es sin duda una de las actividades económicas más importante del país, tanto por su contribución al PBI como por su generación de divisas. Para mantener esta jerarquía debe lograr una productividad acorde al desarrollo sostenible y gestionar, además, los escenarios extremos que plantea el cambio climático o los eventos climáticos como El Niño y La Niña. Para cumplir con estos objetivos y los de abastecer el incremento de la demanda de alimentos, es necesario pensar en un desarrollo tecnológico común: el riego (Carrasco-Letelier *et al.*, 2015).

Estudios realizados en Argentina, riesgos sanitarios por sustancias tóxicas en aguas superficiales en Tres Arroyos, se evaluó debido a la gran actividad industrial en la zona, se demostró que se produjeron vertimientos conteniendo metales pesados, sustancias fenólicas, nitratos y nitritos. Asimismo, se determinó el escurrimiento superficial o escorrentía del suelo agrícola, de acuerdo a las áreas cultivadas con *Triticum spp* “trigo”, *Helianthus annuus* “girasol”, *Zea mays* L. “maíz” y *Glycine max* “soja”, producción altamente dependientes de agroquímicos. Se concluyó que una estación ubicada en la desembocadura del Arroyo Claromecó alcanzó 20% del valor límite, aun considerándose el riesgo agregado y acumulativo, los metales pesados son los que en mayor proporción contribuyen al riesgo acumulativo en general (82 y 99% del riesgo total acumulado), y es el arsénico (As), el metal que mayormente contribuyó al riesgo sobre la salud de la población aledaña (Peluso *et al.*, 2011).

En México, se realizaron estudios para determinar el Índice de calidad de agua del río Mezquital, con la evaluación de parámetros, entre los principales fueron: oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica sólidos suspendidos totales, amoníaco, nitratos, fosfatos, y coliformes fecales, cuyos parámetros permitieron la adecuada descripción de la calidad de agua de la cuenca hidrográfica. Se ubicaron catorce estaciones de muestreo, según GEMS (1987); en cada estación se colectó muestras en época de estiaje y luego en el período de lluvia, los resultados se compararon con las normas de EPA y se demostró que en época de estiaje que una estación excelente (91), en tres, considerado como buena calidad (74-80), ocho estaciones, regular (54-67) y una estación considerada como mala calidad (43). Las estaciones consideradas mala o regular, debido a que el agua no logró la autodepuración, en el tramo de su recorrido, cuando recibió nuevos vertimientos de aguas residuales domésticas de las poblaciones cercanas y/o de los efluentes del agua residual industrial; y en las estaciones con ICA bueno, el agua recorrió grandes distancias y son pequeñas, las poblaciones cercanas a la cuenca. El ICA del río Mezquital después del periodo de lluvias, el índice de calidad de agua se incrementó dando lugar a la calificación de calidad regular a buena, porque el oxígeno disuelto se incrementó y el amoníaco disminuyó (Vicencio De La Rosa *et al.*, 2007).

La cuenca del río Rímac se evaluó utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA), encontrando valores límites establecido para arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), manganeso (Mn), y plomo (Pb): 0.10 mg/L, 0.01 mg/L, 0.05 mg/L, 1.0 mg/L, 0.4 mg/L y 0.05 mg/L, respectivamente, cuyos resultados superaron ampliamente los valores límites (Bedregal *et al.*, 2010), en esa época bajo los estándares de calidad de aguas dados por el D.S. N°002-2008-MINAM, el cual fue derogado y en con la actual regulación, cuyos estándares tienen un rango mayor, estarían dentro de los estándares de calidad de aguas, según D.S. N°004-20017-MINAM, esto es, las normas estarían coincidiendo por los vertimientos de las mineras y en consecuencia no estarían contaminando.

Se evaluó el río Ananea (Puno-Perú), concentración de metales pesados mediante espectrometría de absorción atómica, el estudio se ejecutó en el periodo de estiaje, cuyas concentraciones de arsénico (As), cobre (Cu), cromo (Cr), plomo (Pb) y zinc (Zn), superaron los valores límites máximos permisibles y en tanto, las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) fueron valores inferiores a los límites máximos permisibles, sin embargo es necesario resaltar que los valores fueron comparados con las Normas de la EPA: 200.8. Revisión 5,4. 1994 (Salas, 2014). Y actualmente las normas son aún más exigentes, es decir los rangos se han acortado, a diferencia de lo que sucede en Perú.

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos (Mancilla-Villa *et al.*, 2017). Tienen la capacidad de bioacumularse en los organismos como las plantas y el hombre, causar efectos negativos en la salud del hombre, entre los principales metales pesados se encuentran el mercurio, plomo, cadmio, entre otros. Se puede producir contaminación de un sistema de abastecimiento por el vertimiento de un efluente de residuos industriales y/o mineros, efluentes que contaminan directamente los cursos de agua (lagos, ríos), por carecer de tratamiento previo. En los cultivos, la acumulación de metales pesados se da por medio de su absorción por el agua de regadío contaminada, por la tierra mediante las raíces o por la deposición en el follaje de partículas aerotransportadas (Mor & Ceylan, 2008)

Balmaseda & García (2013), realizaron la determinación de la calidad de las aguas con fines de riego, en el referido estudio, los autores definen como "*aptitud de las aguas*" de la cuenca del río Naranjo, en la provincia de Tunas (México); se ubicaron seis puntos de muestreo de la cuenca, realizados en dos épocas, denominadas: húmeda y seca. La calidad del agua se definió en base a criterios de FAO e indicadores de riego, encontrándose restricciones de ligeras a moderadas, existiendo peligro de alcalinización de los suelos, como consecuencia de la presencia de bicarbonatos en el agua. Asimismo, en Sierra Cubitas (México), se evaluó

la calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas, donde se encontró altos niveles de sodio (Na^{+1}) y cloruros (Cl^{-1}), presentes en el agua para riego, cuyo estudio demostró toxicidad en las plantas y disminución del desarrollo vegetativo del cultivo de *Solanum tuberosum* “papa” (Bonet & Ricardo, 2011).

En Perú la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante Resolución Jefatural N° 202-2010 ANA presentó un listado de las categorías de los ríos del Perú y basada en los estándares de calidad de agua del D.S. N°004-2017-MINAM, Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales. Es necesario la aplicación de estándares o criterios de calidad en la determinación de la calidad de aguas de un ecosistema, a fin de establecer sus usos y poder establecer programas de control, manejo y gestión integrada de un recurso hídrico en beneficio de futuras generaciones.

2.3 Marco conceptual

Calidad de agua.- Tiene un enfoque no estático, es dinámico, puede ser definido en función del uso del recurso o sistema hídrico, está de acuerdo a los parámetros a ser considerados a evaluación; los cuales difieren para consumo humano, uso agrícola, conservación de flora y fauna, pesca recreativa y comercial, y hasta nivel funcional como beneficios ecosistémicos y paisajísticos

Criterio de calidad del agua.- Los criterios son dados de acuerdo a las concentraciones de los diferentes parámetros a ser considerados en la evaluación, según sus usos. Así, los criterios pueden varían de acuerdo a los usos del recurso hídrico.

Eutroficación.- es una denominación que indica que los cuerpos de agua se encuentran en proceso de proliferación bacteriana, de algas, cuyo potencial biótico, es alto, en tanto se reproducen enormemente y cubren la superficie, impidiendo la penetración de la luz solar e inhibiendo la actividad fotosintética. En consecuencia, se forman precipitados, lodos, sustancias húmicas en el fondo, y no existe remoción de nutrientes. Los cuerpos de agua, por ejemplo, los lagos y lagunas disminuyen la concentración de oxígeno disuelto, provocando lentamente la muerte de los mismos. La eutroficación se da por los vertimientos de efluentes domésticos e industriales que contaminan los recursos hídricos y se hace lenta su autopurificación, por la disminución de oxígeno, de la actividad fotosintética y la aparición de organismos anaeróbicos facultativos.

Índice de calidad de agua.- Se da un índice de calidad cuando se relacionan ciertos parámetros, los cuales son conocidos por el investigador y los relacionado con factores de corrección, brindándoles un valor y finalmente se obtiene de una sumatoria o ecuación un valor que

se da en rangos pudiendo ser de 0 a 100 (valores de calidad, que van de malo a muy bueno). En otros casos los índices de calidad, están relacionados a organismos indicadores que permiten dar un valor que es aproximado a un rango de calidad de agua. Es necesario indicar que existen factores climáticos que intervienen en la determinación de los índices de calidad, asimismo pueden ser factores físicos, químicos y biológicos.

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).- es definido por la Asociación Mundial del Agua, Global Water Partnership como, “un proceso que promueve el manejo y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”. La gestión integrada de los recursos hídricos tiene un enfoque de cuenca, es decir, no solo está incluido la calidad del agua, manejo, sino también los aspectos socioeconómicos, y usuarios de la cuenca, desde la cabecera de la cuenca hasta la cuenca baja y desembocadura en el mar. A lo largo de la cuenca se dan todas las actividades que el hombre realiza, contaminándola y/o haciendo uso de ella, por lo que todos los actores de cuenca están involucrados en su conservación, control de la contaminación, manejo, uso adecuado del recurso hídrico, beneficios ecosistémicos y la valoración económica.

Los estándares o normas de calidad del agua.- Las normas o estándares de calidad de agua se aplican de acuerdo a lo establecido en un país, a efectos legales, considerando algún criterio de calidad, que en algún momento limite la descarga de efluentes domésticos o industriales contaminantes en las cuencas hidrográficas. Para efecto de la aplicación de las normas o estándares de calidad, es en gran mayoría para vertimientos de aguas residuales. Honestamente, muchas veces los estándares de calidad están en función de interés económicos, lejos de la

real preservación de los recursos naturales. Afirmando esto, porque las normas en el Perú han variado grandemente, en especial a las concentraciones de los límites máximos permisibles de los metales pesados o estándares de calidad de aguas para sus diferentes usos, no siendo así, en ningún momento comparados con normas internacionales como los estándares de la Unión Europea.

Valoración económica de ecosistemas acuáticos.-Es la estimación del valor o disposición a pagar por servicios ambientales para la protección de un ecosistema acuático, dicho pago puede ser variable, se puede estimar los beneficios ecosistémicos del estado óptimo del recurso hídrico, así como la evaluación de los beneficios que tendría en hombre en relación a los ecosistemas, en la búsqueda de la reducción de contaminantes, manejo y control de la calidad de sus aguas.

Gobernanza multidimensional del agua.- Tiene un enfoque exhaustivo, integrado y holístico, cuya aplicación es al sistema de gestión de recursos hídricos en sus diferentes los usos del recurso. Está basada en la aplicación de estrategias, principios subyacentes de la gestión integrada de los recursos hídricos, desde un enfoque de cuenca, cuyas acciones esenciales deberán realizarse en la disponibilidad hídrica (oferta y demanda) para sus diversos usos, gestión transfronteriza y la coordinación e integración transectorial y gubernamental.

CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis general

- La calidad del agua de la cuenca del río Jequetepeque se encuentra dentro de la Categoría 3: agua de riego, según estándares de calidad de agua (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM).

3.2 Hipótesis específicas

- La disponibilidad hídrica de la cuenca del río Jequetepeque es función de los factores ambientales y de los cambios climáticos que provocan variación de la disponibilidad hídrica de la cuenca.
- La calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque es afectada por vertimientos antropogénicos, y en la evaluación del índice de absorción de sodio (RAS) existe relación directa con la presencia cationes de calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}).
- La determinación coliformes totales y termotolerantes, están relacionado a los vertimientos domésticos y a los sólidos totales disueltos, por lo que sobrepasarían los estándares de calidad (D.S. N° 004-2017-MINAM).

3.3 Identificación de variables

Variable independiente

Cuerpo de agua de la cuenca:

Temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica del agua, metales pesados (plomo, cadmio)

La calidad del agua es en función de la correlación de variables y sus valores límites máximo permisibles para ser contrastados con la normatividad vigente nacional.

Variable dependiente

Estándares de calidad de agua (ECA)

Índice RAS (pH, Mg^{+2} , Ca^{+2} , Na^{+1})

3.4 Operacionalización de variables.-

1. La calidad del agua para riego depende del contenido y tipo de sales, carbonatos, bicarbonatos y cloruros, relacionados con la salinidad, capacidad de infiltración del agua en el suelo, toxicidad de cloro y sodio. Asimismo la relación inversamente proporcional entre el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, ambos relacionados con el pH, sólidos totales disueltos, temperatura y la conductividad.
2. Los sólidos totales disueltos, temperatura y oxígeno, está relacionado a la supervivencia y la proliferación de los microorganismos en los cuerpos de agua, por eso es muy importante la determinación de coliformes totales y termotolerantes.

3. La conductividad es una variable que se evalúa en muchos sectores, desde la industria química a la agricultura. Esta variable depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo.
4. En cuanto al contenido de sodio en el agua de riego, se clasifica utilizando la relación de absorción de sodio (RAS) con respecto a la concentración iónica (CE), mediante el diagrama propuesto por Richards (1990); esta clasificación se basa principalmente en el efecto que tiene el ion sodio adsorbido sobre las condiciones físicas del suelo, es decir, se predice el efecto del agua del riego, que pasará a formar parte del suelo.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1.- Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación fue longitudinal, con diseño de tendencia (Hernández *et al.*, 2010).

Recolección de datos de agua	Recolección de datos de agua	Recolección de datos de agua	Recolección de datos de agua	Recolección de datos de agua	Recolección de datos de agua
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Diciembre Enero Febrero Marzo Abril Mayo



Tiempo 1 Tiempo 2 Tiempo 3 Tiempo 4 Tiempo 5 Tiempo 6

4.2.- Unidad de análisis

La unidad de análisis fue la colecta de muestras de agua (1 litro) en cada estación de muestreo (seis estaciones), para la determinación de la calidad de agua a lo largo de la cuenca media del río Jequetepeque, durante diciembre del 2018 a mayo del 2019.

4.3.- Población de estudio

El agua de la cuenca del río Jequetepeque, recolectada entre diciembre 2018 a mayo del 2019. La toma de muestras de acuerdo a lo establecido en la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016).

4.4.- Tamaño de muestras

El estudio comprendió el periodo de muestreo (diciembre del 2018 a mayo del 2019), siguiendo las normas internacionales (GEMS, 1987). La toma de muestras en las estaciones de muestreo correspondió en los periodos de cambios estacionales, de avenida y estiaje.

4.5.- Selección de muestra

La selección de la muestra fue probabilística. Se seleccionó seis estaciones de muestreo (Cuadro 1), de acuerdo a las normas establecidas por GEMS (1987). La cuenca del río Jequetepeque está ubicada entre los 7°6' y 7°30' L.S. y los 78°30' y 79°40' L.O., en la costa Norte del Perú perteneciente a la Vertiente Occidental de los Andes con un área total de 698 200 ha., las cuales están distribuidas en las provincias y distritos de Pacasmayo, Chepén, Contumazá, San Pablo, San Miguel, Cajamarca (Regiones de La Libertad y Cajamarca).

Cuadro 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú, según su altitud y coordenadas (UTM)

Estaciones de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
E-1 (Puente Kuntur Wasi)	7°13'23" S	78°50'51" W	837
E-2 (Sector La Mónica)	7°13'39" S	78°54'04" W	759
E-3 (Sector La Capilla)	7°12'16" S	78°56'21" W	689
E-4 (Cacerío Yatahual)	7°10'03" S	79°01'17" W	596
E-5 (Cacerío El Pongo)	7°12'22" S	79°02'52" W	552
E-6 (Puente Yonan)	7°15'17" S	79°06'03" W	448

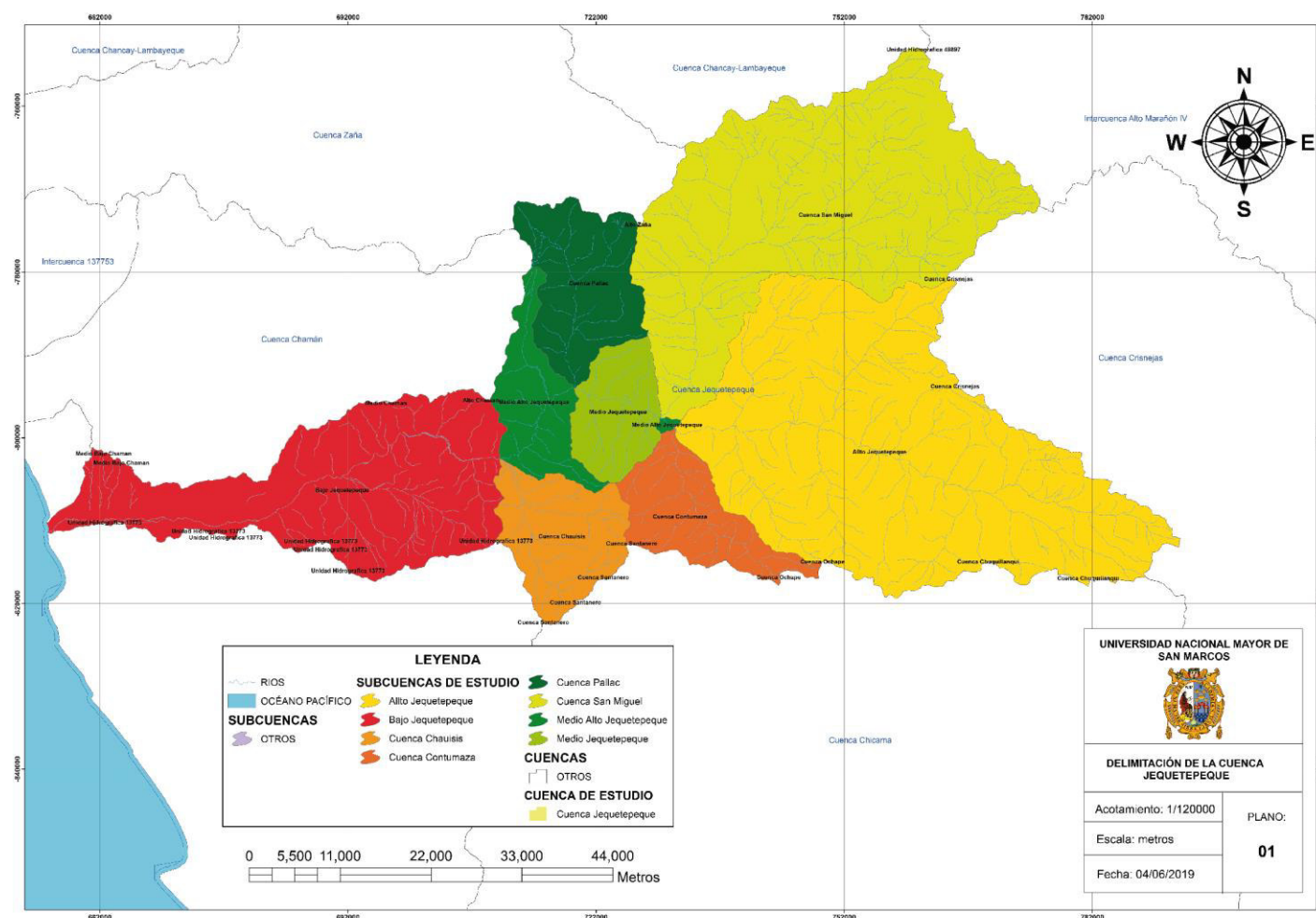


FIGURA 1. Delimitación de la cuenca del río Jequetepeque, Perú

4.6.- Técnicas de recolección de Datos

Contenido de sodio

Uno de los iones que más favorece la degradación del suelo es el sodio que sustituye al calcio en los suelos de zonas áridas. Esta sustitución da lugar a una dispersión de los agregados y a una pérdida de la estructura, por lo que el suelo pierde rápidamente su permeabilidad. Una acción contraria a la señalada para el sodio es la que desempeñan calcio y magnesio. Para prever la degradación que puede provocar una determinada agua de riego se calcula el índice RAS que es la relación de absorción de sodio. Hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ion sodio y los iones calcio y magnesio.

En cuanto al contenido de sodio en el agua de riego, se clasifica utilizando la relación de absorción de sodio (RAS) con respecto a la concentración iónica (CE), mediante el diagrama propuesto por Richards (1990); esta clasificación se basa principalmente en el efecto que tiene el ion sodio adsorbido sobre las condiciones físicas del suelo, es decir, se predice el efecto del agua del riego, que pasará a formar parte del suelo. Con base en el contenido de sodio (RAS), el agua para riego se clasifica en cuatro clases: agua con baja concentración de sodio (S1), agua media en sodio (S2), agua alta en sodio (S3) y agua muy alta concentración en sodio (S4).

La estimación de la RAS bajo diferentes conceptualizaciones prevee las variaciones de las concentraciones de los iones de Ca^{2+} . Por lo tanto, si se considera que se cuenta con una amplitud de valores máximos y mínimos de la RAS de las diferentes soluciones y aguas que atraviesan los espesores superficiales de los suelos, se podrán estimar los diferentes niveles de sodio intercambiable

que adquirirán los suelos cuando se riegan con aguas de diferente RAS (Can-Chulim *et al.*, 2014).

Los valores de la RAS se calculan mediante las siguientes ecuaciones: (1) RAS original propuesta por Gapón (citado por Richards, 1990); (2) Bower *et al.* (1968) establecieron una modificación a los valores originales o explícitos de la RAS del agua que se utiliza para riego. Estos nuevos valores del índice RAS se conocen como RAS ajustada (RAS_{aj}); (3) en 1981, Suárez recomienda un nuevo procedimiento para el cálculo de la relación de absorción de sodio, la RAS corregida (RAS°), que conjuntamente con el valor de Ca° ofrece una mejor comprensión de las modificaciones del calcio en la solución del suelo (Can-Chulim *et al.*, 2014):

$$RAS = \frac{C_{Na^+}}{\sqrt{\frac{C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}}}{2}}} \quad (1)$$

RAS_{adj}

El RAS_{adj} revisa la antigua ecuación RAS y ajusta la concentración de calcio del agua de riego al valor de equilibrio esperado después de un riego e incluye los efectos del dióxido de carbono (CO₂), del bicarbonato (HCO₃) y de la salinidad (EC_w) sobre el calcio originalmente presente en el agua aplicada pero ahora una parte del suelo-agua. El procedimiento asume una fuente de calcio del suelo, denominada cal del suelo (CaCO₃) u otros minerales del suelo tales como silicatos y ninguna precipitación del magnesio (Ayers & Westcot, 1987).

$$RAS_{aj} = \frac{C_{Na^+}}{\sqrt{\frac{C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}}}{2}}} \quad (2)$$

En las ecuaciones anteriores, Na^{1+} , Ca^{2+} y Mg^{2+} indican que las concentraciones de los cationes solubles se encuentran expresados en $mmol\cdot L^{-1}$; pH_c es el pH teórico, donde el agua alcanzaría el equilibrio con el $CaCO_3$; pK_2 expresado como el logaritmo negativo de la segunda constante en estado de disociación del ácido carbónico (H_2CO_3), corregido por la fuerza iónica; pK_c es el producto de la solubilidad del carbonato de calcio ($CaCO_3$), corregido por la fuerza iónica; pCa corresponde al logaritmo negativo de la concentración molar de calcio (Ca); $p(Alk)$ corresponde al logaritmo negativo de la concentración equivalente de la base titulable de CO_3 y HCO_3 ; Ca° es la concentración corregida de calcio en el agua de riego en $mmol\cdot L^{-1}$; el valor de Ca° representa la concentración de calcio en el agua de riego, corregido por la salinidad del agua (CE), por el contenido de iones bicarbonato en relación con el propio contenido de calcio (HCO_3^-/Ca^{2+}) y por la presión parcial del dióxido de carbono (CO_2), que se encuentra en los primeros milímetros del suelo ($P=0.00007$ atm) (Can-Chulim *et al.*, 2014).

Para evaluar el índice de relación de adsorción de sodio (RAS), Índice de relación de absorción de sodio ajustado (RAS ajustado), carbonato sódico residual, dureza del agua, cationes de calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) evaluados en relación a la calidad de agua para uso agrícola (Ayers & Westcot, 1987; Rashidi & Seilsepour, 2011). Para los parámetros a evaluar se tuvo en cuenta los estándares de calidad ambiental para agua categoría III Riego de vegetales y bebida de animales descritos en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM (MINAM, 2017).

Parámetros microbiológicos

Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales (fase presuntiva)

Se efectuó el recuento de microorganismos viables, se tomó nueve tubos de ensayos con campanas de Dürham, previamente autoclavados y se distribuyó de tres en tres. De los nueve tubos a seis tubos se agregó 10 ml de caldo lactosado doble concentrado (2N) y a los tres restantes 10 ml una sola concentración (N). Luego se inoculó con una pipeta graduada 10 ml de la muestra en los tres primeros tubos, los siguientes tres tubos se inoculó 1 ml de muestra y los tres tubos finales, 0.1 ml de muestra. Se agitaron los tubos cuidadosamente, para lograr una mezcla uniforme e incubó a 37°C por 24 a 48 horas (APHA- AWWA-WEF, 2012). Al finalizar la incubación se observó la formación de gas (CO₂) dentro de las campanas de Dürham, cuya fase presuntiva resultó lectura positiva; luego se procedió a realizar la fase confirmativa.

Determinación del número más probable (NMP) de coliformes fecales (fase confirmativa)

Se efectuó el recuento de microorganismos viables. Se tomó nueve tubos de ensayos con campanas de Dürham, previamente esterilizados y se distribuyó de tres en tres en las gradillas. En los nueve tubos se agregó 9 ml de caldo brila, se inoculó con una pipeta graduada 1 ml de muestra de los tubos positivos y se incubó a 43.5°C por 24 a 48 horas, en las cuales se observó formación de gas en las campanas de Dürham dando la prueba como positiva (APHA- AWWA-WEF, 2012).

Cuadro 2. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos según métodos para su determinación en la evaluación de calidad de agua.

Parámetros físico-químicos y microbiológicos	Métodos	Año
Temperatura	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 2550 B	2012
Potencial de hidrógeno (pH)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 4500-H ⁺ -B	2012
Conductividad (CE)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 2510 B	2012
Sólidos totales disueltos (STD)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 2540 C	2012
Carbonatos (CO ₃)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 2320 B	2012
Bicarbonatos (HCO ₃)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 2320 B	2012
Cloruros (Cl ⁻¹)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 4500-Cl ⁻ -B	2012
Oxígeno disuelto (O ₂)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 5210 B	2012
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Standard Methods for the analysis of water and wastewater, 22 ND edition. SM 5210 B	2012
Coliformes totales (NMP/100ml)	Standard Methods for examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF	2012
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	Standard Methods for examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF	2012

Parámetros químicos	Métodos	Año
Calcio (Ca^{+2})	Calcium. EDTA Titrimetric Method. 3500-Ca B. APHA-AWWA-WEF. 23rd Edition.	2017
Magnesio (Mg^{+2})	Magnesium. Calculation Method. 3500-Mg B. APHA-AWWA-WEF. 23rd Edition.	2017
Sodio (Na^{+1})	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. 3111 B. APHA-AWWA-WEF. 23rd Edition.	2017
Plomo (Pb)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3111 B, 23rd Ed. 2017 Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method	2017
Cadmio (Cd)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3111 B, 23rd Ed. 2017 Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method	2017

4.7.- Análisis de interpretación de la información

La información correspondiente a la disponibilidad hídrica (oferta y demanda) de la cuenca del río Jequetepeque, fue registrada en una base de datos en la aplicación de Test para normalidad multivariada, distribución normal bivalente, y en este estudio fue necesario el empleo de un coeficiente de correlación no paramétrica como la de Spearman y la prueba de distribución bivalente de Wilcoxon (Hines & Montgomery, 1996).

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Disponibilidad hídrica

Los cambios en la disponibilidad hídrica y la calidad del agua en la cuenca Jequetepeque se deben a procesos naturales o actividades antropogénicas, generando disminución en la producción agrícola, pecuaria, entre otros, careciendo de manejo y la gestión integrada de los recursos hídricos, lo cual permitiría el desarrollo económico de la Región. Por otro lado, en la cuenca Alta del río Jequetepeque (cabecera de la cuenca) se encuentran las fuentes de agua o manantiales, y el aporte de lluvias estacionales, lo cual complementa la demanda hídrica para los diversos cultivos.

El balance hídrico de la cuenca del Jequetepeque se realizó con la información de 2017-2018, se realizó debido a que ocurrió el evento El Niño, en la zona en estudio la principal demanda es de uso agrícola, se emplea el aporte de lluvias estacionales y se complementa con el riego en la época de estiaje, como se puede observar, se presentó mayor oferta y demanda durante los meses de febrero, marzo y abril (Figura 2), lo cual va disminuyendo desde los meses de mayo a julio. Teniendo una mayor oferta al 75% de persistencia de 749.96 hm^3 , y oferta real de 142.35 hm^3 , en el mes de marzo del 2018. Asimismo, se presentó que la oferta ejecutada 749.96 hm^3 superó a la oferta programada 142.35 hm^3 , haciendo una diferencial de 607.61 hm^3 , para el año hídrico 2017-2018 (Figura 3).

En relación a la mayor demanda bruta programada fue 129.8029319 hm^3 y la ejecutada 111.1599072 hm^3 (Figura 4) para todos los usos, se produjo en el mes

de febrero mientras que la mayor diferencial ocurrió en los meses de diciembre 32.66550747 hm³ y marzo 34.49521828 hm³ (Figura 5).

La más alta demanda agrícola (Figura 6) en el mes de febrero programada 125.8572167 hm³ y ejecutada 106.8053472 hm³, mientras que la mayor diferencial se produjo en los meses de marzo 35.08446628 hm³ y diciembre con 33.12083547 hm³ (Figura 7).

El riego se expresa en control de agua, por lo que se puede distinguir tres dimensiones en el control de riego: dotación, distribución y manejo económico del agua, y por lo tanto, no existe una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) (Guerrero, 2014). En la cuenca del río Jequetepeque, en los últimos 30 años, no ha existido cambio evidente en las cédulas de cultivo, y en casi todas las áreas se puede cultivar *Oryza sativa* “arroz”, por la abundante agua, además se cultiva *Zea mays* L. “maíz”, *Phaseolus vulgaris* “frijol” y diversos frutales (Guerrero, 2014). Por lo que es necesario, la planificación de los derechos de uso de agua y las áreas de cultivo, dependiendo de la disponibilidad hídrica. Asimismo es pertinente conocer las características hidromorfológicas de la cuenca, que se asocian a las anomalías climáticas.

Por efecto de los cambios climáticos, en un futuro se esperaría una disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos (IPCC, 2013; Francés & Bussi, 2014), causando una reducción en el nivel de satisfacción de las requerimientos de agua por el hombre y para las diferentes actividades productivas, provocando problemas de escases de agua (Alcamo *et al.*, 2003; Alcamo, 2007). Como consecuencia, en las próximas décadas, se espera cambios irreversibles por efecto del cambio climático, lo que estaríamos rodeados de incertidumbre (Van Vuuren *et al.*, 2011).

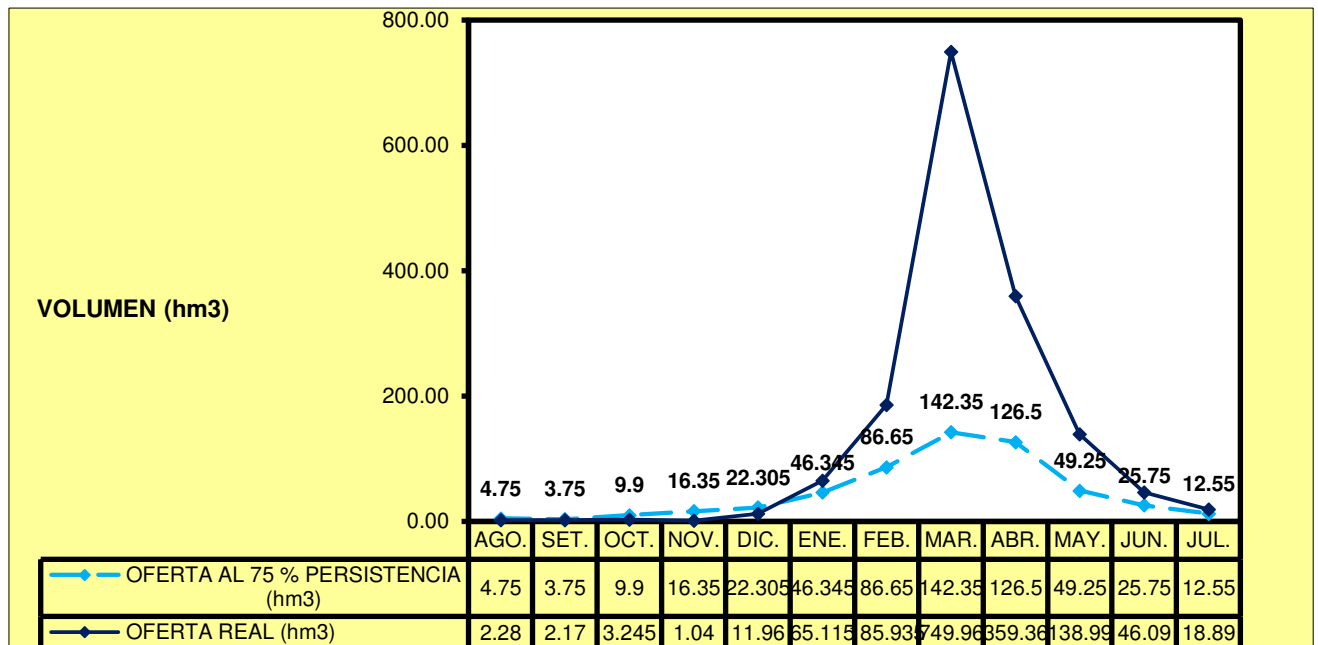


Figura 2. Oferta hídrica real y al 75% de persistencia en la cuenca del río Jequetepeque, durante los meses de agosto 2017 a julio 2018

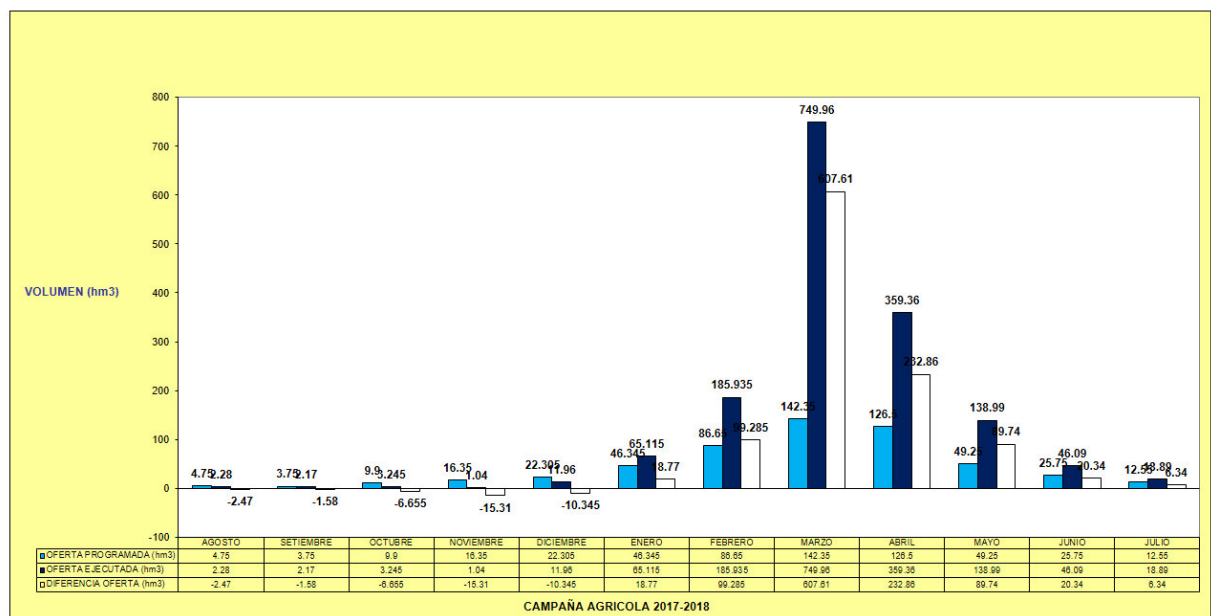


Figura 3. Oferta hídrica programada, ejecutada y la diferencial en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018

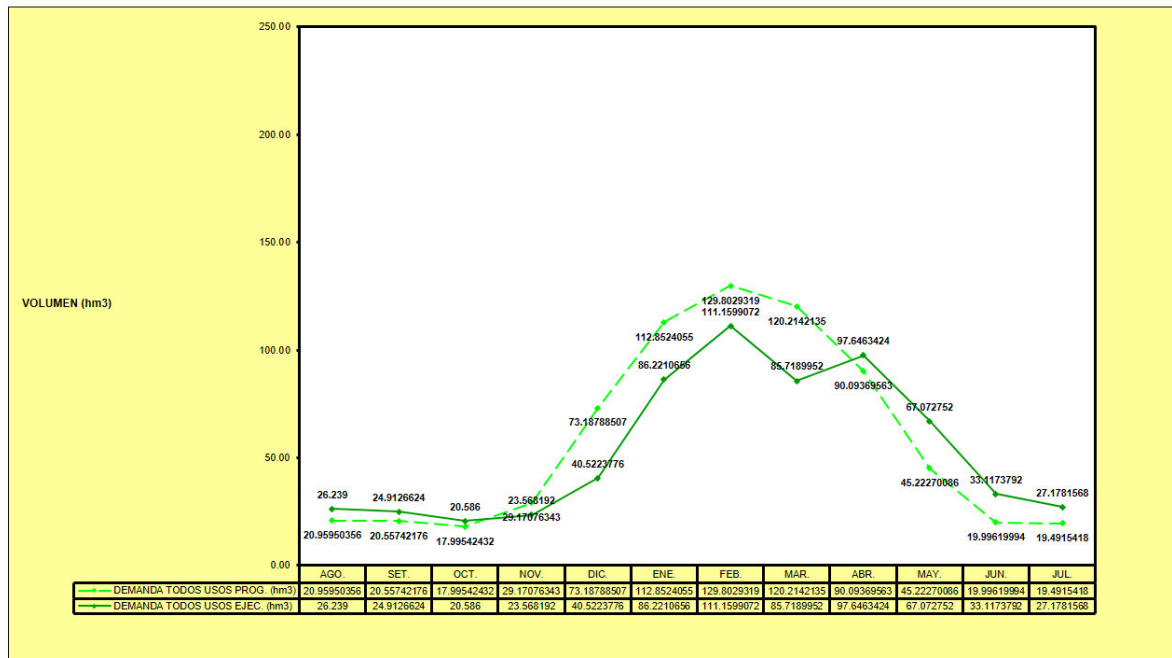


Figura 4. Demanda bruta de todos los usos programados y ejecutados en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018

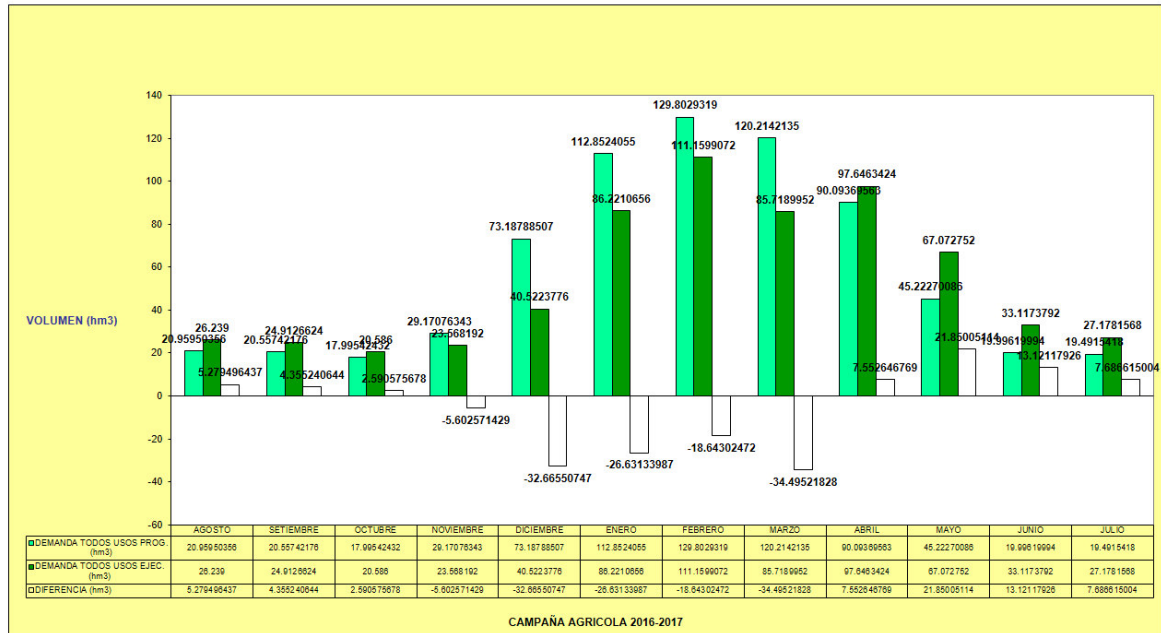


Figura 5. Demanda bruta de todos los usos y su diferencial en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018

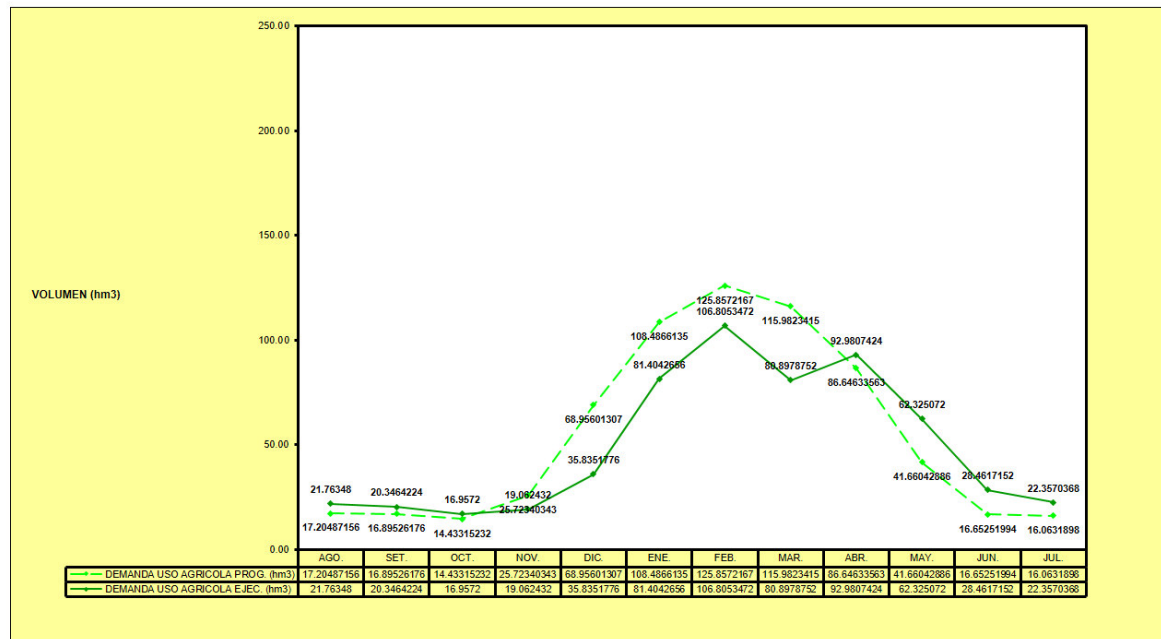


Figura 6. Demanda agrícola de todos los usos programados y ejecutados en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018

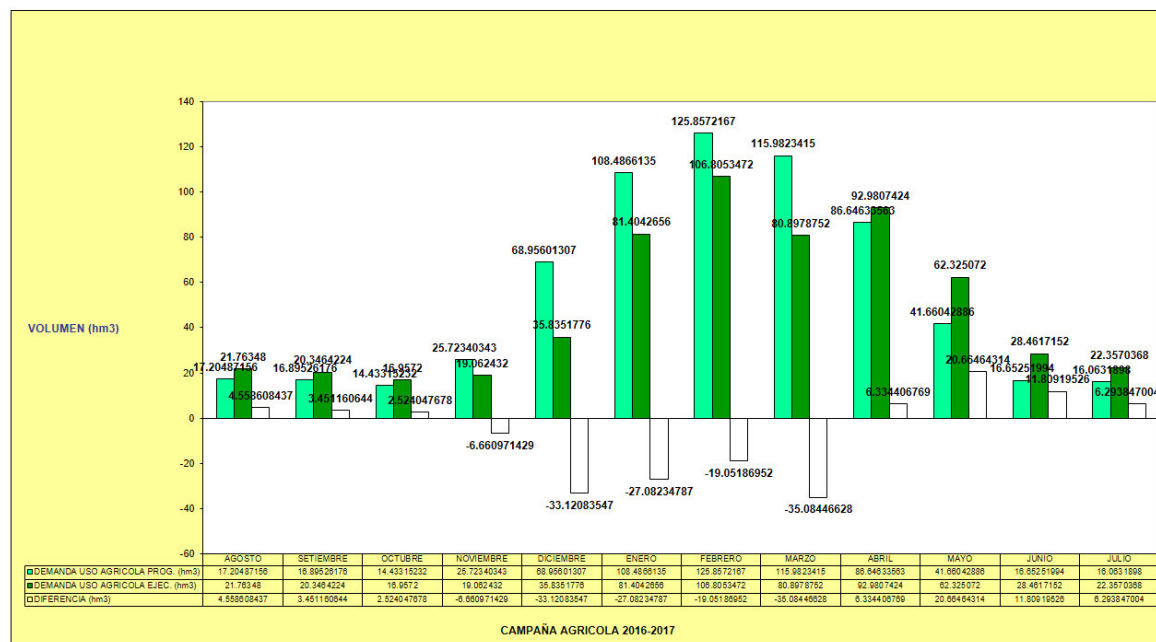


Figura 7. Demanda agrícola de todos los usos y su diferencial en la cuenca del río Jequetepeque durante la campaña agrícola 2017-2018

La aproximación a la distribución hipergeométrica se presenta como la aproximación de Poisson a la distribución binomial. En esta sección consideraremos la aproximación normal a la distribución binomial. Puesto que la binomial es una distribución de probabilidad discreta, esto puede parecer contrario a la intuición; sin embargo, está involucrado en un proceso límite, manteniendo fija la p de la binomial y dejando $n \longrightarrow \infty$. La aproximación se conoce como la aproximación de DeMoivre-Laplace.

Para la determinación de la normalidad bivalente se requiere evaluar la relación entre la oferta y la demanda hídrica, si ambas variables seguían una distribución normal. Si eran distribución normal bivalente (Cuadros 3, 6, 9), era necesario el empleo de la correlación de Pearson, la cual indicó que no existía distribución normal bivalente, y en tal caso fue necesario el empleo de un coeficiente de correlación no paramétrica como la de Spearman. Cuando se evaluó mediante esta correlación de Spearman (Cuadros 4, 7 y 10), se encontró dos variables que se relacionan muy fuertemente porque su valor fue $P < 0.05$. Asimismo con la prueba de distribución bivalente de Wilcoxon (Cuadros 5, 8, 11), se encontró sig. asintótica de 0.638 y 0.53, para la oferta y demanda hídrica respectivamente (Cuadro 6 y 7), en la cuenca del río Jequetepeque 2017-2018.

Cuadro 3. Test para normalidad multivariada en relación de la oferta hídrica de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Henze-Zirkler = 1.520446	Chi2(1)= 13.256	Prob>chi2 = 0.0003
Doornik-Hansen	Chi2(4)= 37.525	Prob>chi2 = 0.0000

Cuadro 4. Programa de Spearman, stats (rho p) pw en relación de la oferta hídrica de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Programa Spearman ejecutado , stats (rho p) pw	
número de objetos	12
rho de Spearman	0.9161
Test de Ho: Programa para ejecutar si son variables independientes	
Prob > t	0.0000

Cuadro 5. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas según oferta hídrica de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Datos	Resultados
Número total	12
Estadístico de contraste	60.000
Error estándar	12.748
Estadístico de contraste estandarizado	1.647
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.099

Cuadro 6. Test para normalidad multivariada en relación de la demanda bruta de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Henze-Zirkler = 0.8018365	Chi2(1)= 4.479	Prob>chi2 = 0.0343
Doornik-Hansen	Chi2(4)= 8.533	Prob>chi2 = 0.0739

Cuadro 7. Programa de Spearman, stats (rho p) pw en relación de la demanda bruta de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Programa Spearman ejecutado , stats (rho p) pw	
número de objetos	12
rho de Spearman	0.8392
Test de Ho: Programa para ejecutar si son variables independientes	
Prob > t	0.0006

Cuadro 8. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas según demanda bruta de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Datos	Resultados
Número total	12
Estadístico de contraste	33.000
Error estándar	12.748
Estadístico de contraste estandarizado	-0.471
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.638

Cuadro 9. Test para normalidad multivariada en relación de la demanda agrícola de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Henze-Zirkler = 0.8085096	Chi2(1)= 4.563	Prob>chi2 = 0.0327
Doornik-Hansen	Chi2(4)= 8.554	Prob>chi2 = 0.0733

Cuadro 10. Programa de Spearman, stats (rho p) pw en relación de la demanda agrícola de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Programa Spearman ejecutado , stats (rho p) pw	
número de objetos	12
rho de Spearman	0.8392
Test de Ho: Programa para ejecutar si son variables independientes	
Prob > t	0.0006

Cuadro 11. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas según demanda agrícola de la cuenca Jequetepeque durante el año 2017-2018

Datos	Resultados
Número total	12
Estadístico de contraste	31.000
Error estándar	12.748
Estadístico de contraste estandarizado	-0.628
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.530

5.2 Calidad de agua de la cuenca

Diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, pueden deteriorar la calidad del agua, lo cual es pertinente lograr el tratamiento adecuado de los efluentes antes de ser vertido al cuerpo receptor (cuencas hidrográficas) o denominados también cuerpos de agua. En relación a la cantidad de agua (volúmenes) y velocidad de los cursos de agua, como también pendientes de los ríos dependen su capacidad de autopurificación. El término “Calidad del agua” es ampliamente usado, sin embargo la calificación y cuantificación es relevante para alcanzar una estrategia básica para el control y manejo de los recursos hídricos, en el logro del desarrollo sostenible (Hakanson *et al.*, 2000). Existen muchos factores, físico-químicos y microbiológicos que permiten conocer si determinados cuerpos de agua están contaminados o no. Esto significa que si hay alteración en los parámetros establecidos se presentan contaminación, aunque la sola presencia de una sustancia extraña en el agua no implica que haya, salvo que se produzca algún impacto sobre un ser vivo o material (Bonet & Ricardo, 2011; Guerrero, 2014).

La calidad de agua de riego es muy importante para disminuir el problema de la concentración total de sales solubles presentes en el agua, a mayor cantidad de sales menor calidad de agua (Guerrero, 2016). Los factores que influyen sobre la calidad de agua en la zona son el pH, la presencia de cationes [calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2})] y la conductividad eléctrica (CE) (Palancar, 2006; Cortés-Jiménez *et al.*, 2009; Lingaswamy & Saxena, 2015)

En la determinación de la calidad de agua para uso agrícola o de regadío es importante considerar como factor preponderante los altos rendimientos productivos. En aguas para uso agrícola la calidad es determinada por la concentración de iones específicos, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} y K^{+1} como cationes y CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} como aniones. La presencia de cationes y

aniones se originan por la disolución o meteorización de la roca madre y en la formación de los suelos, los cuales fueron transportados mediante corrientes (suelos fluviales), tanto superficiales como subterráneas, depositados en los suelos (deslizamientos, depositación, erosión), de forma natural o mediante el riego, citado por Velásquez *et al.* (2002) en Mancilla-Villa *et al.* (2017).

La determinación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, cuyos resultados como: temperatura (t), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (SDT), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), calcio (Ca⁺²), magnesio (Mg⁺²), sodio (Na⁺¹), carbonatos (CO₃⁻²), bicarbonatos (HCO₃⁻¹), cloruros (Cl⁻¹), metales pesados, plomo (Pb) y cadmio (Cd) y bacteriológicos [coliformes totales y termotolerantes (NMP/100ml)], en las diferentes estaciones de muestreo, a lo largo de la cuenca media del río Jequetepeque, entre los meses diciembre de 2018 a mayo de 2019, se presentan en los Cuadros 12, 13, 14, 15, 16 y 17. Estos resultados de los parámetros físico-químico y bacteriológico, permitieron contrastar la información y comparar con los Estándares de Calidad de Agua y validar la hipótesis planteada, que el agua de la cuenca media del río Jequetepeque, se encuentra en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, D1: Riego de Vegetales, según los estándares de calidad ECA D.S. N°004-2017-MINAM.

Cuadro 12. Valores encontrados en Puente Kuntur Wasi (Estación-1) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú.

Parámetro		Unidades	Fechas de muestreo						X	S ²	D.S.
			I	II	III	IV	V	VI			
Fecha			08/12/2018	12/01/2019	09/02/2019	09/03/2019	06/04/2019	04/05/2019	-	-	-
Temperatura		°C	32.2	33.1	31.3	26.0	29.5	31.6	30.617	6.5337	2.5561
pH		Unidad	8.0	8.3	8.6	8.6	7.5	7.6	8.100	0.2320	0.4817
Conductividad eléctrica (CND)		μS/cm	300	320	280	290	440	350	330.0	3520	59.3296
Sólidos totales disueltos (TDS)		mg/L	540	530	480	211	316	438	419.167	16983.36	130.3202
Oxígeno disuelto (O ₂)		mg/L	6.2	6.3	6.1	6.0	5.36	6.30	6.043	0.1257	0.3545
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)		mg/L	4.96	4.60	4.70	4.80	4.55	4.95	4.760	0.0302	0.1738
Calcio (Ca ⁺²)		mg/L	60.01	60.05	59.50	59.80	58.68	58.69	59.455	0.3938	0.6275
Magnesio (Mg ⁺²)		mg/L	12.15	12.16	12.20	12.30	12.17	12.18	12.193	0.0030	0.0550
Sodio (Na ⁺¹)		mg/L	10.230	10.235	10.233	10.240	10.240	10.250	10.238	0.00005	0.0071
Carbonatos (CO ₃ ⁻²)		mg/L	54.0	52.5	51.0	48.0	36.0	36.0	46.25	486.975	22.0675
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹)		mg/L	54.9	60.39	59.78	59.17	58.56	54.90	57.95	5.9536	2.440
Cloruros (Cl ⁻¹)		mg/L	35.096	31.905	30.133	32.968	30.132	34.741	32.496	4.7084	2.1699
INDICE RAS			1.703109	1.703351	1.709064	1.705483	1.720462	1.721899	1.744	0.0063	0.0796
Metales pesados	Plomo (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	-
	Cadmio (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-
Coliformes	Totales	NMP/100ml	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	-	-
	Termotolerantes	NMP/100ml	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	-	-

Cuadro 13. Valores encontrados en Sector “La Mónica (Estación 2) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

Parámetro		Unidades	Fechas de muestreo						X	S²	D.S.
			I	II	III	IV	V	VI			
Fecha			08/12/2018	12/01/2019	09/02/2019	09/03/2019	06/04/2019	04/05/2019	-	-	-
Temperatura Agua		°C	31.3	30.0	27.0	27.0	31.3	30.7	29.550	6.6449	2.5778
pH		Unidad	8.5	8.7	8.6	8.8	8.0	8.3	8.483	0.0857	0.2927
Conductividad Eléctrica (CND)		µS/cm	400	430	420	270	570	370	410	9480	97.3653
Sólidos Totales Disueltos (TDS)		mg/L	520	540	480	196	465	284	414.17	19698.56	140.3516
Oxígeno disuelto (O ₂)		mg/L	6.20	6.70	6.50	6.30	6.08	5.80	6.263	0.1001	0.3163
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)		mg/L	4.80	4.90	4.89	4.90	5.34	4.60	4.905	0.0587	0.2423
Calcio (Ca ⁺²)		mg/L	57.05	56.55	56.70	56.60	56.45	56.30	56.608	0.0654	0.2558
Magnesio (Mg ⁺²)		mg/L	10.90	10.89	10.85	10.83	10.82	10.80	10.848	0.0016	0.0397
Sodio (Na ⁺¹)		mg/L	10.356	10.348	10.344	10.346	10.343	10.342	10.346	0.00263	0.0051
Carbonatos (CO ₃ ⁻²)		mg/L	59.70	46.50	42.00	36.00	24.00	24.00	38.70	477.81	21.8589
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹)		mg/L	122.00	115.90	112.85	87.84	48.80	43.92	88.551	1205.963	34.7269
Cloruros (Cl ⁻¹)		mg/L	42.540	40.767	42.540	40.058	30.132	19.852	35.982	83.985	9.1643
INDICE RAS			1.776693	1.782020	1.911789	1.781808	1.78341	1.785493	1.804	0.0028	0.0531
Metales pesados	Plomo (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	-
	Cadmio (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-
Coliformes	Totales	NMP/100ml	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	-	-
	Termotolerantes	NMP/100ml	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	-	-

Cuadro 14. Valores encontrados en Sector “La Capilla” (Estación 3) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú.

Parámetro		Unidades	Fechas de muestreo						X	S²	D.S.
			I	II	III	IV	V	VI			
Fecha			08/12/2018	12/01/2019	09/02/2019	09/03/2019	06/04/2019	04/05/2019	-	-	-
Temperatura Agua		°C	29.0	29.3	26.1	26.3	28.5	31.2	28.400	6.1044	2.4707
pH		Unidad	8.5	8.4	8.5	8.5	8.3	8.3	8.417	0.0097	0.0983
Conductividad Eléctrica (CND)		µS/cm	350	340	320	200	220	290	286.667	3986.66	63.1401
Sólidos Totales Disueltos (TDS)		mg/L	324	320	310	141	163	214	245.333	6918.267	83.1761
Oxígeno disuelto (O₂)		mg/L	6.80	8.70	6.75	6.50	6.80	6.2	6.958	0.7824	0.8845
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)		mg/L	4.98	4.77	4.60	4.75	4.56	4.72	4.730	0.0221	0.1486
Calcio (Ca⁺²)		mg/L	40.70	40.75	40.68	40.60	40.64	40.50	40.645	0.0077	0.0876
Magnesio (Mg⁺²)		mg/L	4.34	4.32	4.25	4.23	4.22	4.20	4.260	0.0032	0.0569
Sodio (Na⁺¹)		mg/L	8.996	8.994	9.001	8.996	8.994	8.992	8.996	9.5E-06	0.0031
Carbonatos (CO₃⁻²)		mg/L	45.00	39.00	30.00	30.00	24.00	24.00	33.667	300.4667	17.3339
Bicarbonatos (HCO₃⁻¹)		mg/L	73.20	54.90	48.80	48.80	43.92	43.92	52.256	121.7015	11.0318
Cloruros (Cl⁻¹)		mg/L	35.805	35.096	34.741	35.096	30.133	25.169	32.673	17.7153	4.2089
INDICE RAS			1.895681	1.894629	1.899055	1.900116	1.89906	1.902031	1.898	7.72E-06	0.0028
Metales pesados	Plomo (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	-
	Cadmio (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-
Coliformes	Totales	NMP/100ml	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	-	-
	Termotolerantes	NMP/100ml	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	-	-

Cuadro 15. Valores encontrados en el Cacerío Yatahual (Estación 4) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

Parámetro		Unidades	Fechas de muestreo						X	S ²	D.S.
			I	II	III	IV	V	VI			
Fecha			08/12/2018	12/01/2019	09/02/2019	09/03/2019	06/04/2019	04/05/2019	-	-	-
Temperatura Agua		°C	29.9	29.7	28.0	26.1	30.6	31.2	29.250	6.1168	2.4732
pH		Unidad	8.5	8.5	8.4	8.3	8.4	8.7	8.467	0.0187	0.1366
Conductividad eléctrica (CND)		µS/cm	290	285	270	250	220	290	267.500	777.5	27.8837
Sólidos Totales Disueltos (TDS)		mg/L	300	280	250	183	162	212	231.167	2989.77	54.6788
Oxígeno disuelto (O₂)		mg/L	6.50	6.70	6.80	6.60	6.63	6.25	6.580	0.0362	0.1903
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)		mg/L	4.88	4.78	4.79	4.80	4.84	4.84	4.822	0.0015	0.0382
Calcio (Ca⁺²)		mg/L	40.90	40.86	40.84	40.80	40.77	40.70	40.812	0.0051	0.0711
Magnesio (Mg⁺²)		mg/L	6.02	6.05	6.04	6.01	5.99	5.90	6.001	0.0029	0.0542
Sodio (Na⁺¹)		mg/L	9.840	9.838	9.836	9.834	9.832	9.834	9.836	8.66E-06	0.0029
Carbonatos (CO₃⁻²)		mg/L	69.00	66.00	63.00	60.00	36.00	30.00	54.00	831.60	28.8374
Bicarbonatos (HCO₃⁻¹)		mg/L	85.40	67.10	73.20	82.96	43.92	39.04	65.27	385.644	19.6378
Cloruros (Cl⁻¹)		mg/L	42.540	35.450	38.641	59.910	30.132	25.169	39.141	152.5098	12.3495
INDICE RAS			2.031567	2.031370	2.031607	2.032712	2.033385	2.037287	2.033	5.05E-06	0.0022
Metales pesados	Plomo (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	-
	Cadmio (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-
Coliformes	Totales	NMP/100ml	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	-	-
	Termotolerantes	NMP/100ml	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	-	-

Cuadro 16. Valores encontrados en el Cacerío “El Pongo” (Estación 5) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

Parámetro		Unidades	Fechas de muestreo						X	S ²	D.S.
			I	II	III	IV	V	VI			
Fecha			08/12/2018	12/01/2019	09/02/2019	09/03/2019	06/04/2019	04/05/2019	-	-	-
Temperatura Agua		°C	29.1	28.7	28.0	26.6	29.3	30.8	28.750	6.0569	2.4611
pH		Unidad	8.6	8.5	8.6	8.7	8.2	8.5	8.520	0.0297	0.1722
Conductividad eléctrica (CND)		µS/cm	300	290	280	250	230	310	276.667	946.667	30.7679
Sólidos Totales Disueltos (TDS)		mg/L	340	300	320	178	169	223	255.000	5564.8	74.5976
Oxígeno disuelto (O ₂)		mg/L	6.80	6.78	6.50	6.60	6.52	6.40	6.600	0.0258	0.1605
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)		mg/L	4.90	4.88	4.96	4.80	5.20	4.55	4.882	0.0449	0.2119
Calcio (Ca ⁺²)		mg/L	44.20	44.36	44.30	44.25	44.23	44.50	44.307	0.0121	0.1102
Magnesio (Mg ⁺²)		mg/L	4.48	4.45	4.40	4.50	4.36	4.60	4.465	0.0070	0.0838
Sodio (Na ⁺¹)		mg/L	9.595	9.598	9.596	9.594	9.593	9.590	9.594	7.46E-06	0.0027
Carbonatos (CO ₃ ⁻²)		mg/L	84.00	81.00	75.00	84.00	24.00	48.00	66.00	1434.6	37.8761
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹)		mg/L	85.40	79.30	73.20	69.54	68.32	48.80	70.76	156.579	12.5131
Cloruros (Cl ⁻¹)		mg/L	38.995	31.905	34.741	30.133	35.096	19.852	31.787	43.3646	6.5852
INDICE RAS			1.944844	1.942859	1.944647	1.943271	1.94624	1.935498	1.943	1.45E-05	0.0038
Metales pesados	Plomo (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	-
	Cadmio (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-
Coliformes	Totales	NMP/100ml	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	-	-
	Termotolerantes	NMP/100ml	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	-	-

Cuadro 17. Valores encontrados en Puente Yonan (Estación 6) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

Parámetro		Unidades	Fechas de muestreo						X	S ²	D.S.
			I	II	III	IV	V	VI			
Fecha			08/12/2018	12/01/2019	09/02/2019	09/03/2019	06/04/2019	04/05/2019	-	-	-
Temperatura Agua		°C	28.5	28.0	25.4	25.5	25.1	29.5	27.000	6.4824	2.5460
pH		Unidad	8.5	8.4	8.4	8.2	8.4	8.6	8.417	0.0176	0.1329
Conductividad Eléctrica (CND)		µS/cm	340	330	350	260	250	310	306.667	1786.67	42.2689
Sólidos Totales Disueltos (TDS)		mg/L	230.4	233	225	194.5	185.0	227	215.817	424.2817	20.5981
Oxígeno disuelto (O ₂)		mg/L	6.50	6.70	6.80	6.50	6.78	6.02	6.550	0.0847	0.2911
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)		mg/L	4.98	4.90	4.95	5.00	5.80	4.98	5.102	0.1183	0.3439
Calcio (Ca ⁺²)		mg/L	45.45	44.96	43.99	43.50	43.43	43.50	44.138	0.7469	0.8642
Magnesio (Mg ⁺²)		mg/L	6.79	6.80	6.40	6.38	6.66	6.50	6.588	0.0354	0.1883
Sodio (Na ⁺¹)		mg/L	10.678	10.688	10.682	10.674	10.678	10.676	10.679	2.5E-05	0.0050
Carbonatos (CO ₃ ⁻²)		mg/L	84.00	82.50	83.70	84.00	36.00	36.00	67.70	1476.09	38.4199
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹)		mg/L	115.90	109.80	103.70	68.32	48.80	43.92	81.74	1026.401	32.0374
Cloruros (Cl ⁻¹)		mg/L	46.085	42.540	38.995	40.059	40.059	30.132	36.645	28.2213	5.3124
INDICE RAS			2.089312	2.100943	2.128116	2.137366	2.133681	2.135200	2.121	4.17E-04	0.0204
Metales pesados	Plomo (Pb)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	-
	Cadmio (Cd)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-
Coliformes	Totales	NMP/100ml	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	2.40E+03	-	-
	Termotolerantes	NMP/100ml	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.10E+03	-	-

TEMPERATURA.

Con relación a la temperatura del agua, el valor promedio mínimo encontrado (27°C) durante los meses de diciembre 2018 a mayo del 2019, fue en el puente Yonan (E-6); mientras que las temperaturas más altas se reportaron en Puente Kuntur Wasi (E-1) y sector La Mónica (E-2) con 30.62 y 29.55°C respectivamente (Figura 8), la variabilidad de la temperatura obtenidas en las seis estaciones de muestreo, cuya variabilidad está relacionada a las diferentes épocas de muestreo (avenida y estiaje) (Zheng, 2017).

La temperatura es un parámetro característico de las aguas naturales y refleja las condiciones climáticas y ecológica de la cuenca (Ortega, 1966; Romero, 2013), está relacionada directamente con la saturación de oxígeno disuelto, la actividad fotosintética, desarrollo de organismos aeróbicos (actividad biológica) y concentración de carbonatos de calcio, los cuales pueden precipitar con la formación de sales. En las zonas altoandinas o en cabeceras de cuenca, donde se realiza generalmente cultivos de secano, éstos están principalmente vinculados a los elementos constitutivos del clima, como la precipitación y temperatura, que son determinantes en el balance hídrico, es decir en la disponibilidad hídrica de la cuenca, esto se realiza con la finalidad de establecer los periodos vegetativos de los diversos cultivos y que se éstos se encuentren previamente programados, en tal sentido siempre se realiza la elaboración de los planes o programas de las cédulas de cultivo con meses de antelación. Azzi (1959), afirma que, los equivalentes meteorológicos son base fundamental para el desarrollo de la climatología agrícola. La aplicación, ayuda en la solución de los problemas bioclimáticos, al mismo tiempo permite evidenciar y buscar soluciones a las situaciones complejas que se presentan en campo.

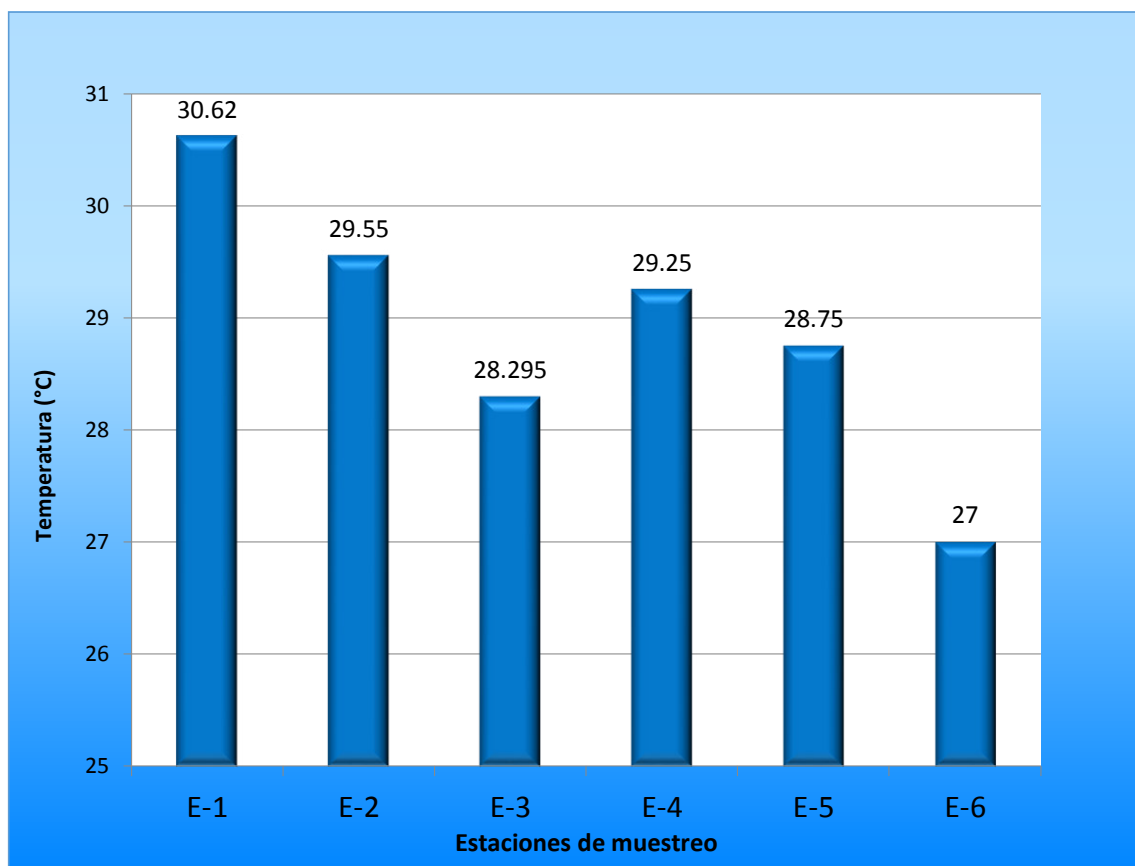


Figura 8. Promedios de la temperatura del agua en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

pH

En las diferentes estaciones evaluadas el pH varió entre 8.1 y 8.48, encontrándose en la estación Puente Kuntur Wasi (E-1) y Sector La Mónica (E-2), como se puede observar en la Figura 9. Los valores de pH para agua de riego considerados óptimos para este uso de acuerdo con Ayers & Westcot (1987) oscilan entre 6.5 a 8.4. Los valores superiores a 8.4 según Ortega *et al.* (2002) podrían tener implicancias negativas en la disponibilidad de nutrientes. Estudios realizados por Can-Chulin *et al.* (2014), encontraron que el valor promedio de pH fue 8, con un valor máximo de 9.2 y mínimo de 6.7, respectivamente, en primavera, 7.3, 8.7 y 6.1, respectivamente, en otoño. Ayers & Westcot (1987) encontraron que los valores normales de pH en el

agua para riego oscilaron entre 6.5-8.4. Los valores de pH superiores a 8.4, según estudios realizados por Ortega *et al.* (2002), tendrían implicancias importantes sobre la disponibilidad y el manejo de nutrientes; en tanto en el presente estudio estarían dentro de los valores normales, de acuerdo a los Estándares de Calidad de Agua D.S. N°004-2017-MINAM.

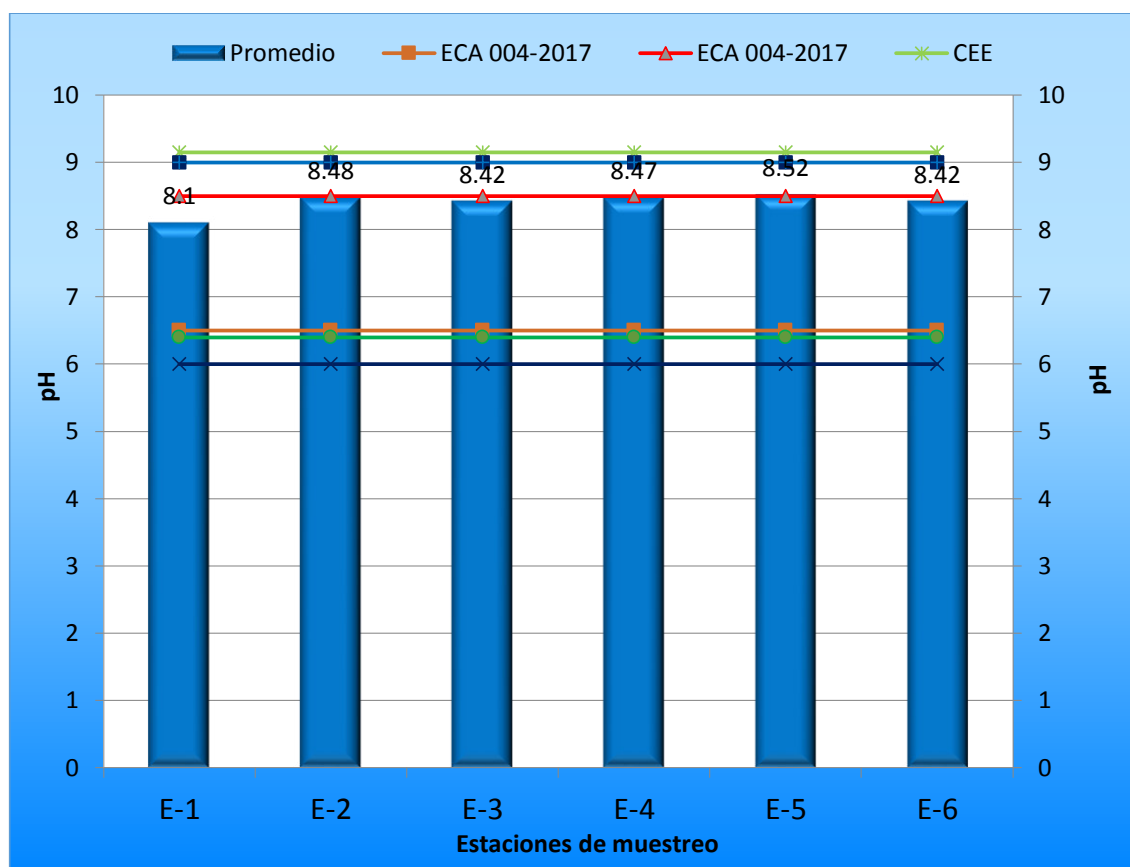


Figura 9. Valores promedio de pH en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Las seis estaciones presentan promedios de conductividad eléctrica por debajo de lo establecido para la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, cuyo valor límite fue 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, según D.S. N°004-2017-MINAM; cuyo máximo valor promedio (410 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se presentó en la estación denominada Sector La Mónica (E-2), un valor promedio de 267.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que correspondió al mínimo valor encontrándose en Sector La Capilla (E-3), durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 10). Estudios realizados por Morales-Duran *et al.* (2018), en el Distrito de Riego 023, encontraron valores que variaron entre 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 7580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este último fue debido a descarga municipal denominada San Pedro 1, cual contrasta con lo evaluado en la cuenca media del río Jequetepeque.

La conductividad eléctrica en su capacidad de medir la disociación de los cationes y aniones presentes en el agua, y relacionarlos con parámetros, como sólidos totales disueltos, adsorción de sodio, pH y la salinidad del agua (Olías *et al.*, 2015; Sarabia-Meléndez *et al.*, 2011). González-Barrios *et al.* (2014), realizaron estudios en especies sensibles sometidas a altas concentraciones de sales, concluyendo que las sales presentes en el agua afectan directamente la producción agrícola y reducir el desarrollo de *Saccharum officinarum* L. “caña de azúcar”, así como a *Phaseolus vulgaris* “frijol”, entre los principales; además la presencia de altas concentraciones de sales deterioran la calidad del suelo. En comparación al estudio realizado en la cuenca media del río Jequetepeque, los resultados obtenidos de la medición de la conductividad eléctrica fue más alta en el Sector La Mónica (E-2), en comparación con las otras estaciones de muestreo.

La conductividad eléctrica se puede asociar con los sólidos totales disueltos en el agua (mg/L). Velásquez *et al.* (2002), demostraron que el valor de la pendiente depende del tipo de sal dominante. Jurinak & Suarez (1990); Richards (1990), realizó diversas investigaciones sobre la relación de la conductividad eléctrica (CE) y los iones disociados, expresados de sus respectivos pesos, y concluyó que la conductividad eléctrica es directamente proporcional a las masas moleculares disociadas de los iones. Asimismo, es pertinente indicar que las mediciones de la conductividad eléctrica dependen del número de iones disociados en el agua, pero no es dependiente de sus respectivas masas. En resumen, la conductividad indica la presencia de sales en forma ionizada, como los cloruros o iones de sodio, carbonatos; permite establecer relaciones e interpretaciones de resultados con los sólidos disueltos en los vertimientos en los cuerpos de agua.

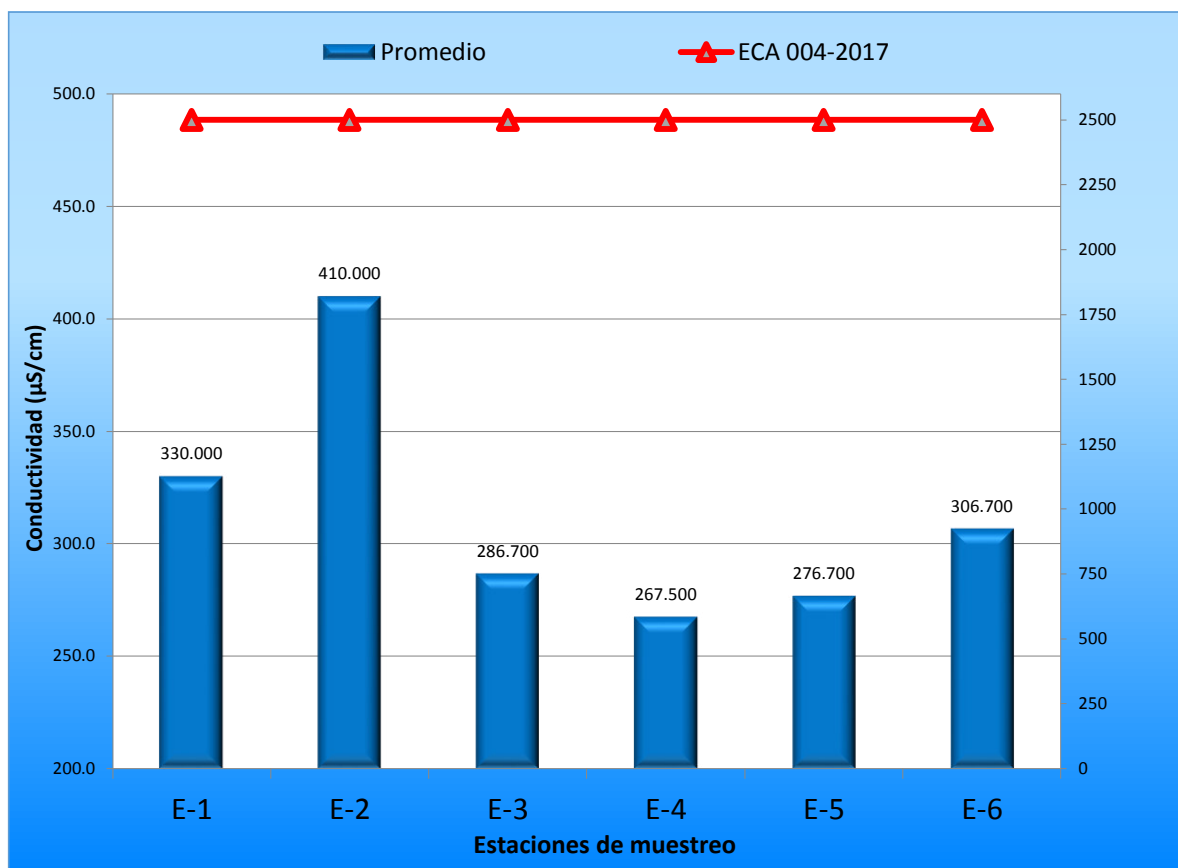


Figura 10. Valores promedio de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD)

Todas las estaciones evaluadas se encontraron en valores que fluctuaron entre 215.8 mg/L y 419.1 mg/L en las estaciones denominadas Caserío Yatahual (E-4) y Puente Kuntur Wasi (E-1), durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 11). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, no se han considerado valores o estándares de calidad para los Sólidos Totales

Disueltos, según el D.S N°004-2017-MINAM. Sin embargo, en las normas internacionales como la Unión Europea (2013), estaría superando el valor límite superior. En el caso de los sólidos totales disueltos (TSD), se encontró un valor máximo de 419.1 mg/L (Figura 11), las descargas de los vertimientos de origen doméstico y agrícola, en las estaciones que se encuentran centros poblados con mayor número de habitantes, como es el caso del centro poblado de Chilete.

El contenido de (TSD) del agua depende principalmente de los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de calcio, magnesio, sodio y potasio. Los sólidos totales disueltos (TSD) es una variable que indica el valor de los compuestos inorgánicos y orgánicos en cuerpos de agua (Fipps, 2003). Los sólidos totales disueltos se expresa en mg/L y se relaciona directamente con la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), y la presencia de sales en el agua próxima a la zona radicular de las plantas influye en la presión osmótica y puede provocar un menor paso de agua desde el suelo a la planta, cesar el paso e incluso provocar el flujo contrario de la planta al suelo.

Asimismo, la presencia de los sólidos totales disueltos, permite que los microorganismos se adhieran a la superficie, alcanzando su proliferación y desarrollo, por lo que el estándar de calidad de calidad para los sólidos totales disueltos, es de 500 mg/L, según D.S. N°004-2017-MINAM, este valor límite no superó en ninguna de las estaciones evaluadas, en tanto no existe restricción del uso del agua para el riego de vegetales.

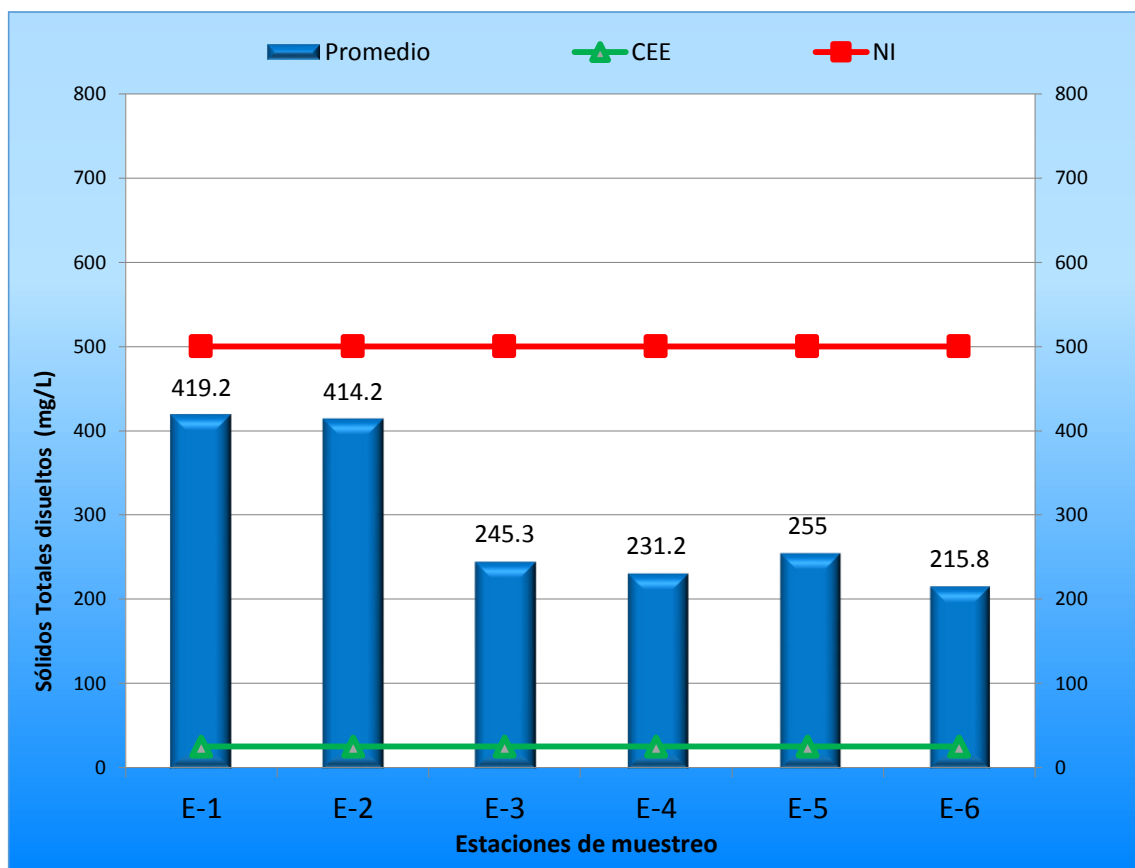


Figura 11. Valores promedio de sólidos totales disueltos (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

OXÍGENO DISUELTO

La determinación de oxígeno disuelto es muy importante en los cuerpos de agua por cuanto es el factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en un medio. Además, permite cuantificar la demanda bioquímica de oxígeno, porque refiere al consumo de oxígeno por los organismos presentes en el agua y al mismo tiempo indica el estado ecológico y nivel de contaminación de las cuencas.

En la estación Puente Kuntur Wasi (E-1) se encontró el mínimo valor promedio de 6.04 mg/L, y en las otras estaciones, los valores fluctuaron entre 6.26 a 6.95 mg/L, durante los meses de diciembre 2018 a mayo del 2019 (Figura 12). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, que corresponde el presente estudio, cuyo valor límite se considera mayor o igual a 4 mg/L (D.S. N°004-2017-MINAM). Al igual que estudios realizados en la cuenca del río Chicama, la concentración de oxígeno disuelto fueron valores superiores a 4 mg/L, valores que se encuentran en los Estándares de Calidad de Agua (Guerrero, 2016). Esto es, debido a que el lecho del cuerpo de agua está constituido por canto rodado que permite la formación de turbulencia del agua y por consiguiente, se produce el incremento de la concentración de oxígeno.

Estudios realizados en río Tulancingo (México) se registró que la mayor contaminación del agua, se encontró en los lugares próximos a la ciudad de Tulancingo, cuyos los valores oxígeno disuelto encontrados fueron de 0 mg/L. Se establecieron para oxígeno disuelto, los rangos entre 7 y 8 mg/L, estas concentraciones de oxígeno disuelto son indicativo, que las aguas no están contaminadas, y no existirían limitaciones para su uso. Se reportó, que en los diferentes tramos del curso del río se produjo el incremento de oxígeno disuelto, como se comprobó en la estación de aforo del río, denominada “Venados”, ubicada a 84 km de la ciudad de Tulancingo (Álvarez *et al.*, 2008).

En la evaluación de las aguas del río Suquía (Argentina), se encontró altas concentraciones de oxígeno disuelto y una alta capacidad de depuración para degradar la materia orgánica. Dado, que el curso del río atraviesa gran parte de la ciudad de Córdoba, éste recibe a lo largo de su trayecto aportes de efluentes provenientes de diferentes actividades productivas (industriales, agroindustriales), como sería el caso de la cuenca del río Jequetepeque, en un futuro próximo. Lo mencionado anteriormente cobra importancia si se

considera los cambios en la calidad del agua y la presencia de altas concentraciones de metales pesados, que indicarían contaminación; esto debido a que se producirían generalmente por la incorporación efluentes que presentan metales pesados, en concentraciones que afectarían el ecosistema acuático y la pérdida de la biodiversidad, las descargas con estas características tendrían una magnitud significativa y en consecuencia efectos negativos sobre los usos del recurso (Carrasco-Letelier *et al.*, 2015).

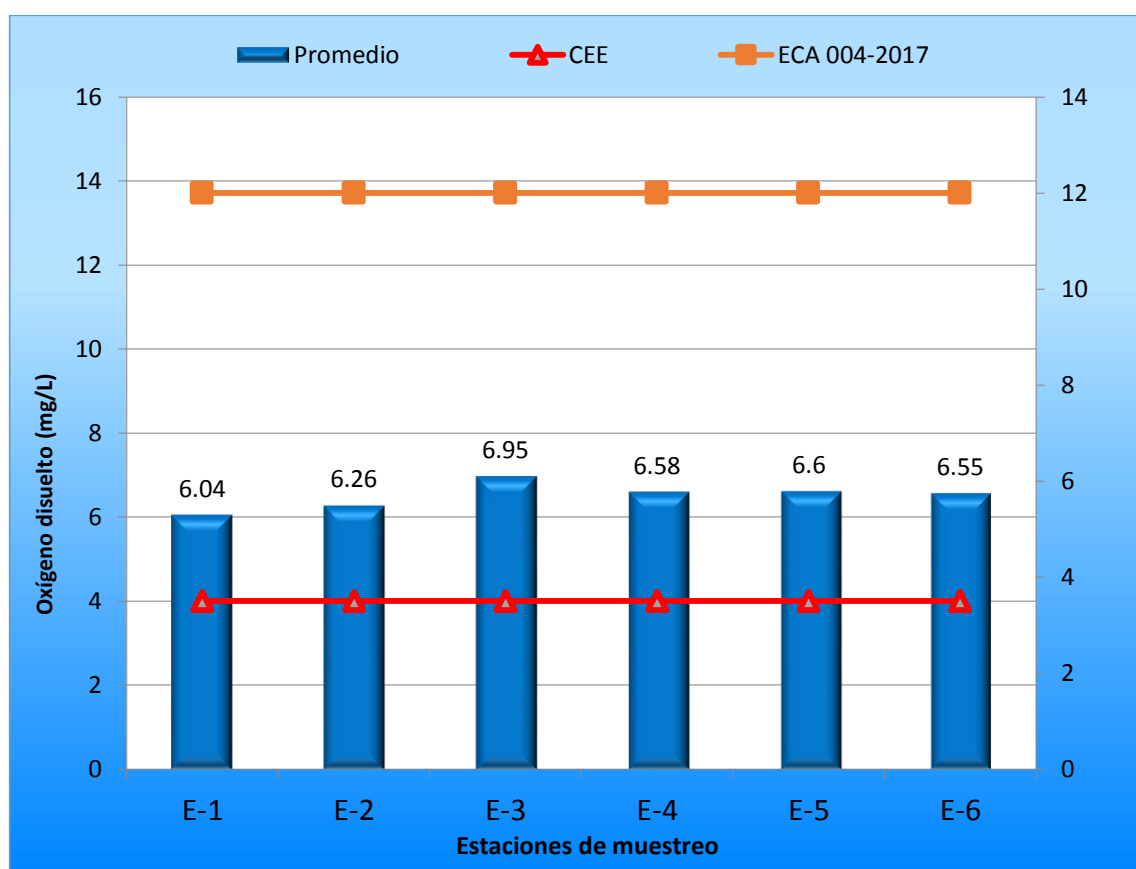


Figura 12. Valores promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXÍGENO

El valor promedio mínimo fue de 4.73 mg/L y el más alto 5.1 mg/L, correspondiente a la estación La Capilla (E-3) y Puente Yonan (E-6), respectivamente (Figura 13).

Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, el valor límite para demanda bioquímica de oxígeno es 15 mg/L (D.S. N°004-2017-MINAM), en tanto ningún valor encontrado en las diferentes estaciones no superan el valor del estándar. La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno se relaciona directamente al contenido de materia orgánica en el agua, esto es la concentración de oxígeno que es consumido por las bacterias anaeróbicas facultativas, las cuales están presentes en el agua con presencia de materia orgánica.

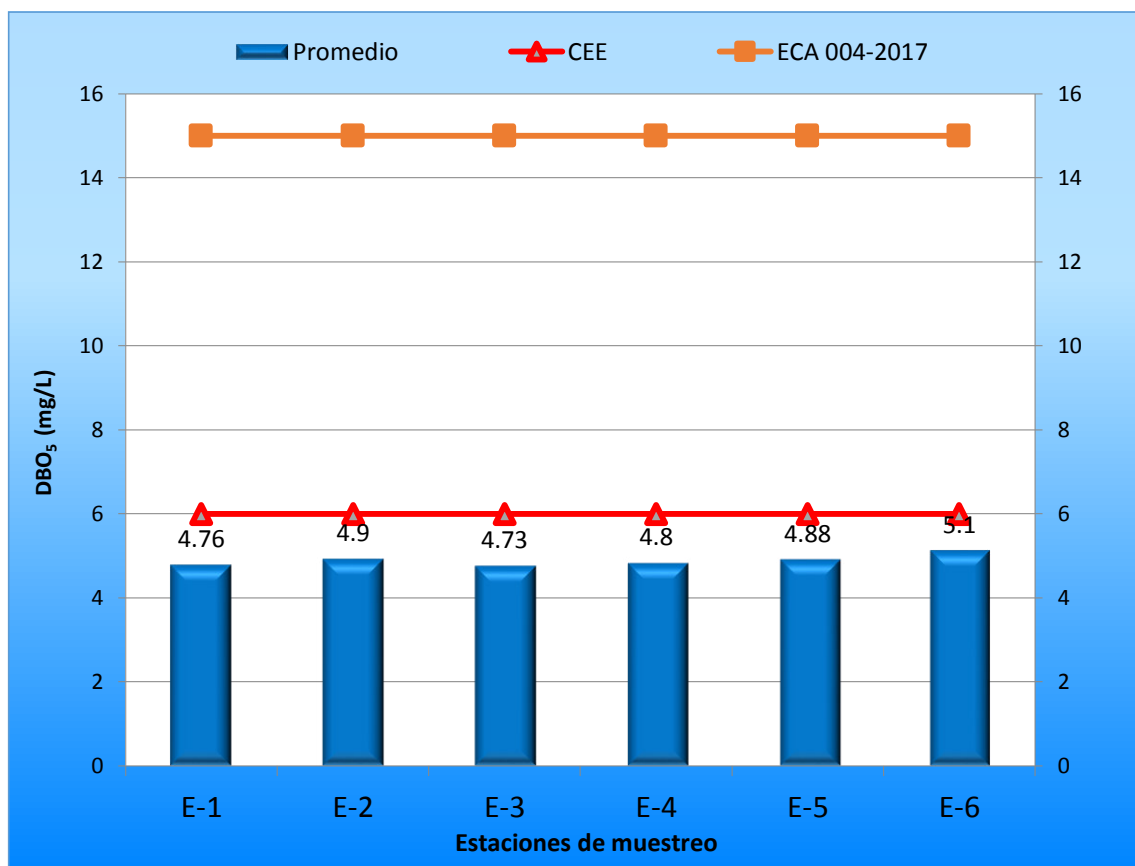


Figura 13. Valores promedio de demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

CALCIO

El calcio (Ca^{+2}) es la principal causa de la dureza del agua, (junto con el magnesio), está asociado principalmente a los iones carbonato-bicarbonato. Es un catión de cambio y por su relación carga/tamaño y su concentración tiende a expulsar a otros de los sitios de adsorción. Ingresa en la constitución de rocas ígneas: plagioclasa, piroxenos, anfíboles, de rocas sedimentarias calcita, aragonito, dolomita, yeso y anhidrita y de arcillas (Muñoz *et al.*, 2016).

En la estación La Capilla (E-3) se encontró el valor promedio de 40.65 mg/L, que corresponde el mínimo valor durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 14). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, que corresponde el presente estudio, no se ha considerado al parámetro calcio (D.S. N°004-2017-MINAM). El calcio es el elemento metálico cuyo contenido en aguas es la causa principal de la dureza del agua.

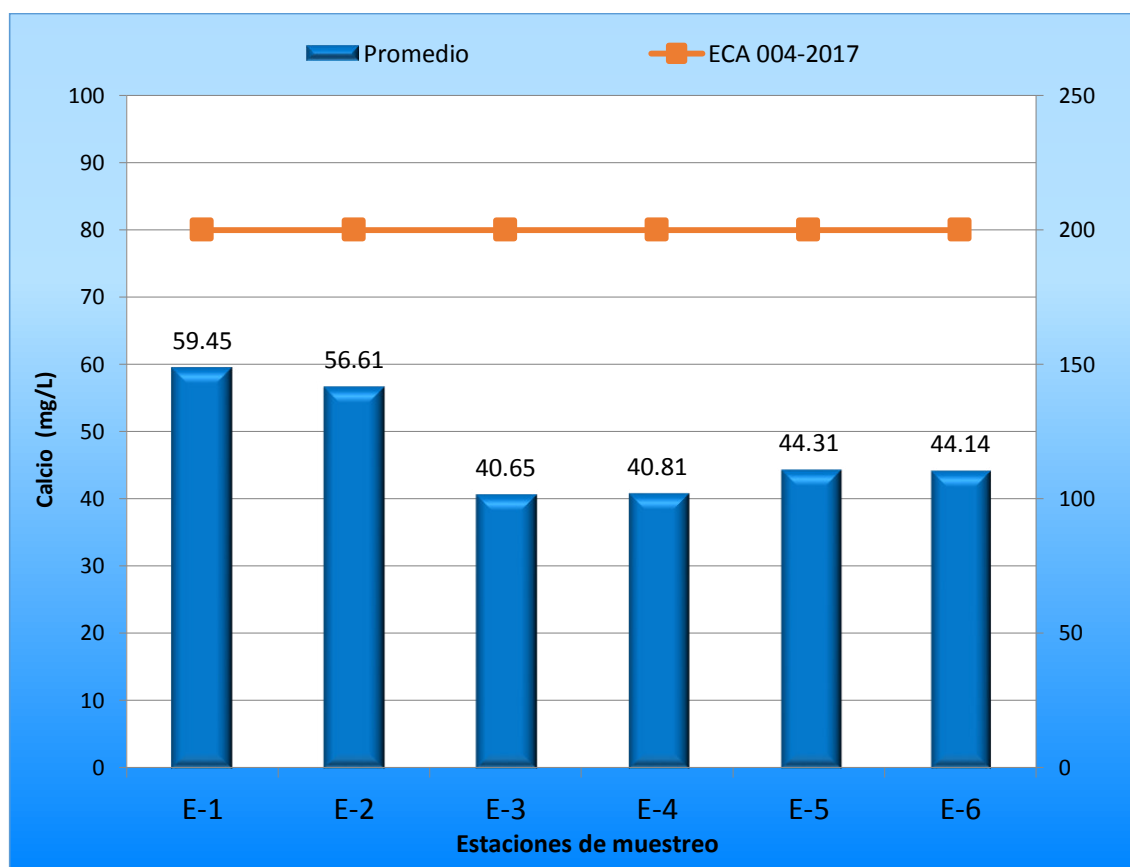


Figura 14. Valores promedio de calcio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

MAGNESIO

El magnesio forma parte de rocas ígneas: plagioclasa, piroxenos, anfíboles y de micas de rocas metamórficas como clorinas y serpentinas. En las rocas sedimentarias se encuentra como carbonato, magnesita, mezclado con calcio y dolomita, y como hidróxido, brucita, en las plantas, es de vital importancia porque se requiere para la síntesis de clorofila. Está asociado a carbonato-bicarbonato y puede precipitar como hidróxido. Como catión de intercambio es de tamaño y carga semejante calcio, porque expulsa a iones de menor carga o de mayor volumen, se incorpora a materia orgánica y arcillas. El magnesio puede presentarse en suelos ácidos (húmedos y con gran permeabilidad) (Muñoz *et al.*, 2016).

En la estación La Capilla (E-3) se encontró el valor promedio de 4.26 mg/L, que corresponde el mínimo valor, mientras que en las otras estaciones los valores promedio fluctuaron entre 4.47 y 12.19 mg/L, en las estaciones cacerío El Pongo (E-5) y Puente Kuntur Wasi (E-1) respectivamente, durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 14). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, que corresponde el presente estudio, no se consigna ningún valor para el parámetro magnesio (D.S. N°004-2017-MINAM). Metal considerado no tóxico en las concentraciones no rechazables por sabor. Es un mineral esencial, con un consumo humano, diario aceptable de 350 mg.

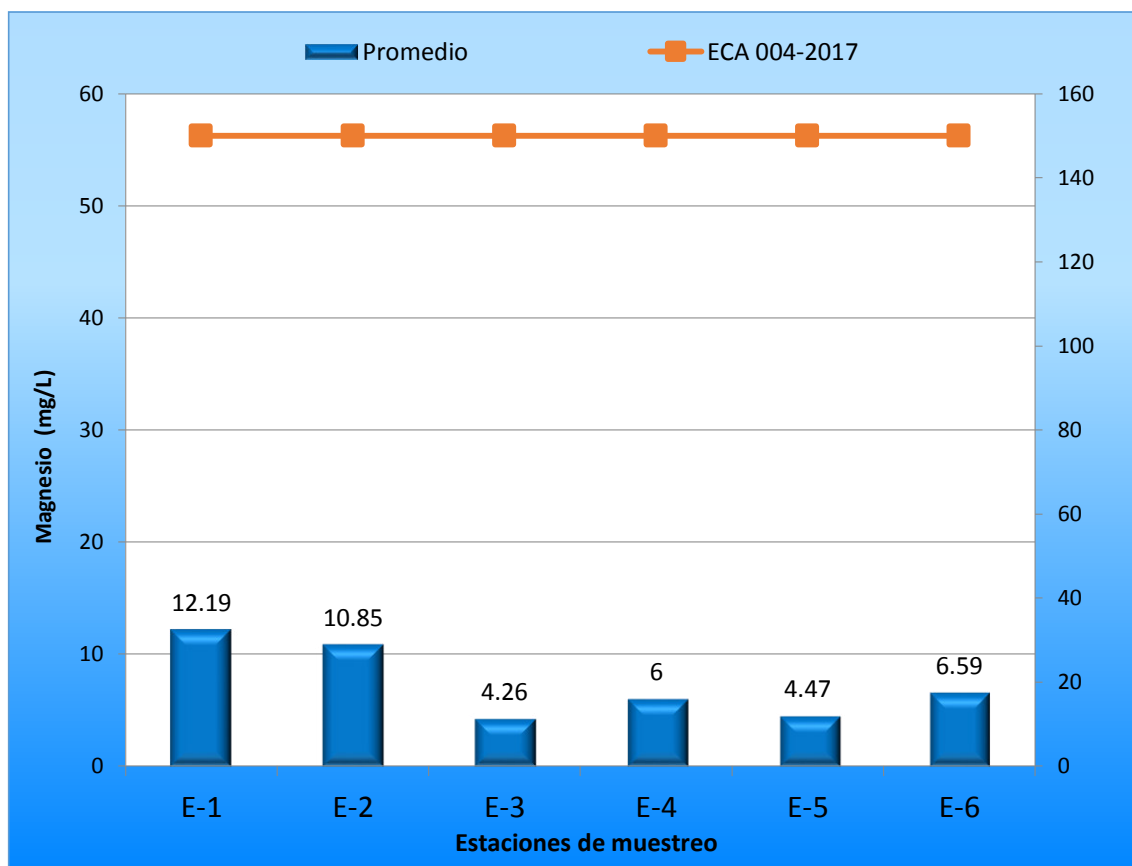


Figura 15. Valores promedio de magnesio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

SODIO

En la estación La Capilla (E-3) se encontró el valor promedio de 8.99 mg/L, que corresponde el mínimo valor, mientras que en las otras estaciones los valores promedio fluctuaron entre 9.59 y 10.68 mg/L, en las estaciones El Pongo (E-5) y Puente Yonan (E-6) respectivamente, durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 16). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, que corresponde el presente estudio, no se consigna el parámetro sodio (D.S. N°004-2017-MINAM).

El sodio es un metal muy activo, que no existe libre en la naturaleza. Todas las sales de sodio son muy soluble en agua, por lo que es muy común encontrar sodio en aguas de ríos. En aguas para riego, el sodio como bicarbonato o carbonato puede ser perjudicial para el suelo y las plantas; bajo estas condiciones se tiene que incrementar la alcalinidad del suelo debido a la precipitación de carbonato de sodio, que reduce la concentración de calcio del suelo y su permeabilidad, produciendo un suelo infértil y no adecuado para uso agrícola. Con respecto a los cloruros, en 1984 Mass citado por Bonet & Ricardo (2011), encontró que los valores en el orden de 5 a 10 meq/L causan daños foliares en los cultivos de *Vitis vinifera* “vid”, *Capsicum annuum* “pimientos”, *Solanum tuberosum* “papa” y *Solanum lycopersicum* “tomate” por la acumulación de sales en las hojas.

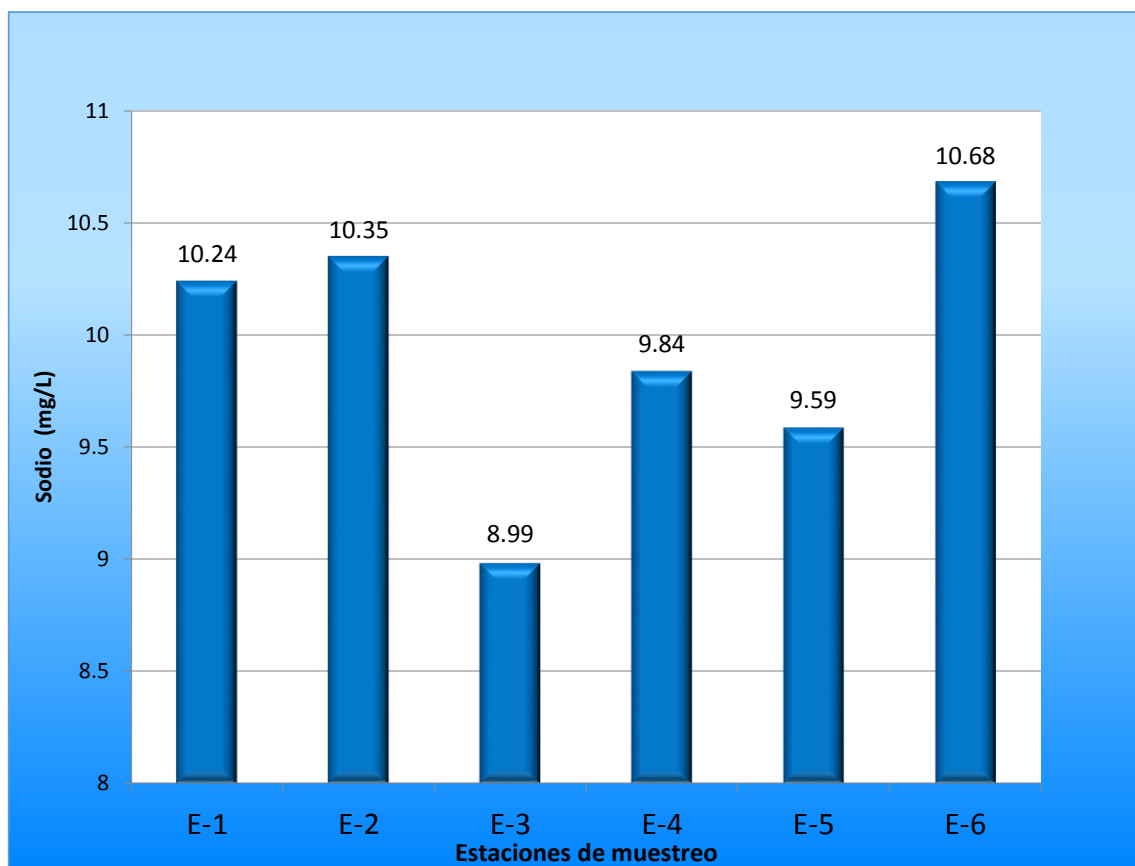


Figura 16. Valores promedio de sodio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

CARBONATOS

En la estación La Capilla (E-3) se encontró el valor promedio de 33.67 mg/L, que corresponde el mínimo valor, mientras que en las otras estaciones los valores promedio fluctuaron entre 38.70 y 67.70 mg/L, en las estaciones denominadas Sector La Mónica (E-2) y Puente Yonan (E-6) respectivamente, durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 17). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, que corresponde el presente estudio, no se consigna a los carbonatos, para su evaluación (D.S. N°004-2017-MINAM).

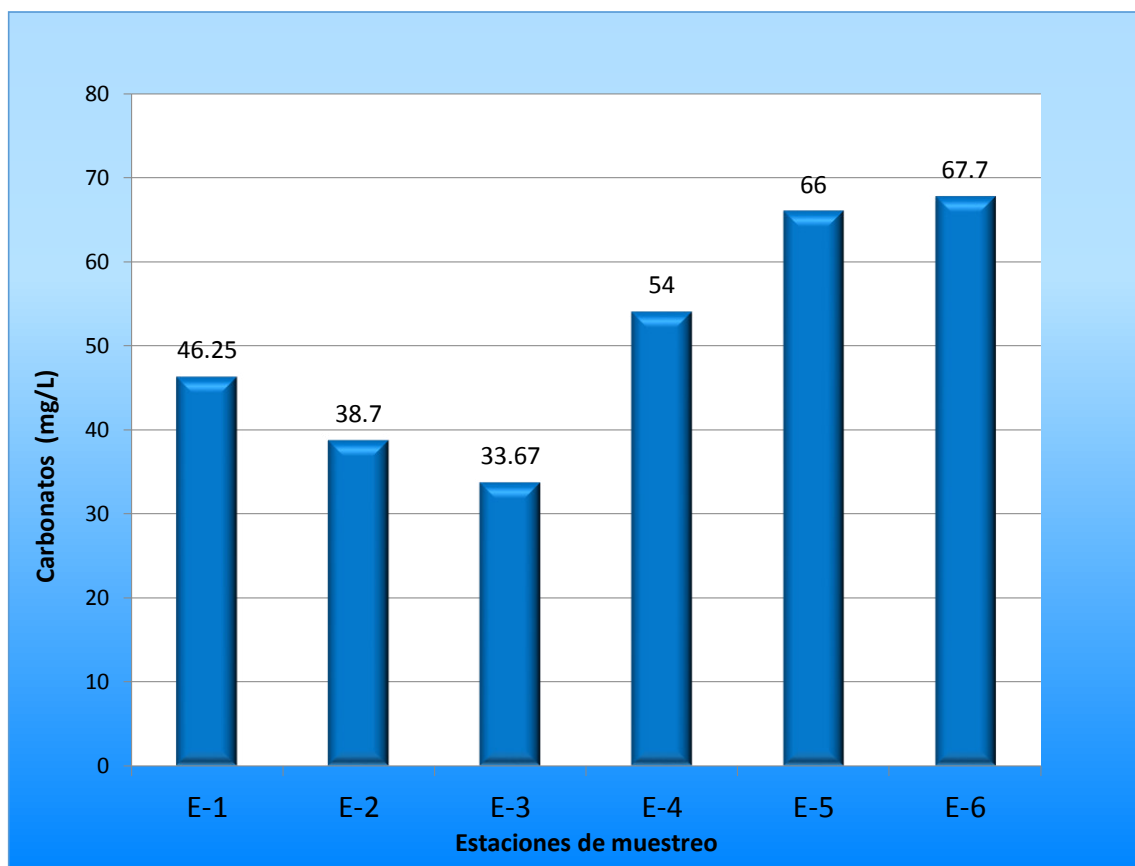


Figura 17. Valores promedio de carbonatos (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

BICARBONATOS

Los bicarbonatos, aniones que están asociados al carbonato y al CO_2 en disolución, su concentración depende de la presencia de rocas calcáreas para introducir anión carbonato, de la aireación del agua para introducir CO_2 y del consumo o expulsión del mismo por los organismos que se encuentran en el agua. Su concentración está directamente relacionada con el pH del medio y contribuye a la estabilización, tan solo se transforma a carbonato en medios muy alcalinos; se relaciona con la presencia de cationes de calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}).

Kretschmr *et al.* (2002) realizó un estudio para determinar los valores límites de restricción para bicarbonato, en referente a calidad de agua de uso agrícola (riego de vegetales), indicando que concentraciones menores de 90 mg L⁻¹ de bicarbonatos, se pueden utilizar sin ninguna restricción, de 90 a 500 mg L⁻¹ existiría limitación moderada, en tanto, a concentraciones superiores a de 500 mg L⁻¹ restringiría su uso a severo.

En la estación La Capilla (E-3) se encontró el valor promedio de 52.26 mg/L, que corresponde el mínimo valor, mientras que en las otras estaciones los valores promedio fluctuaron entre 57.95 y 88.55 mg/L, en las estaciones denominadas Puente Kuntur Wasi (E-1) y sector La Mónica (E-2) respectivamente, durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 18). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, que corresponde el presente estudio, en todas las evaluaciones, y las diferentes estaciones no superaron el valor estándar (518 mg/L) para los bicarbonatos (D.S. N°004-2017-MINAM).

Producto de la actividad agrícola, se producen descargas de aguas conteniendo fertilizantes y el contacto del agua con las rocas (lixiviación, erosión), las que de acuerdo con su composición aportan diferentes iones, indicando la presencia de concentraciones altas de bicarbonato de magnesio. En climas áridos, la presencia de pequeñas concentraciones de bicarbonato sobre calcio (Ca⁺²) y magnesio (Mg⁺²) en aguas de riego, permitiría la formación de suelos sódicos (Sánchez *et al.*, 2015).

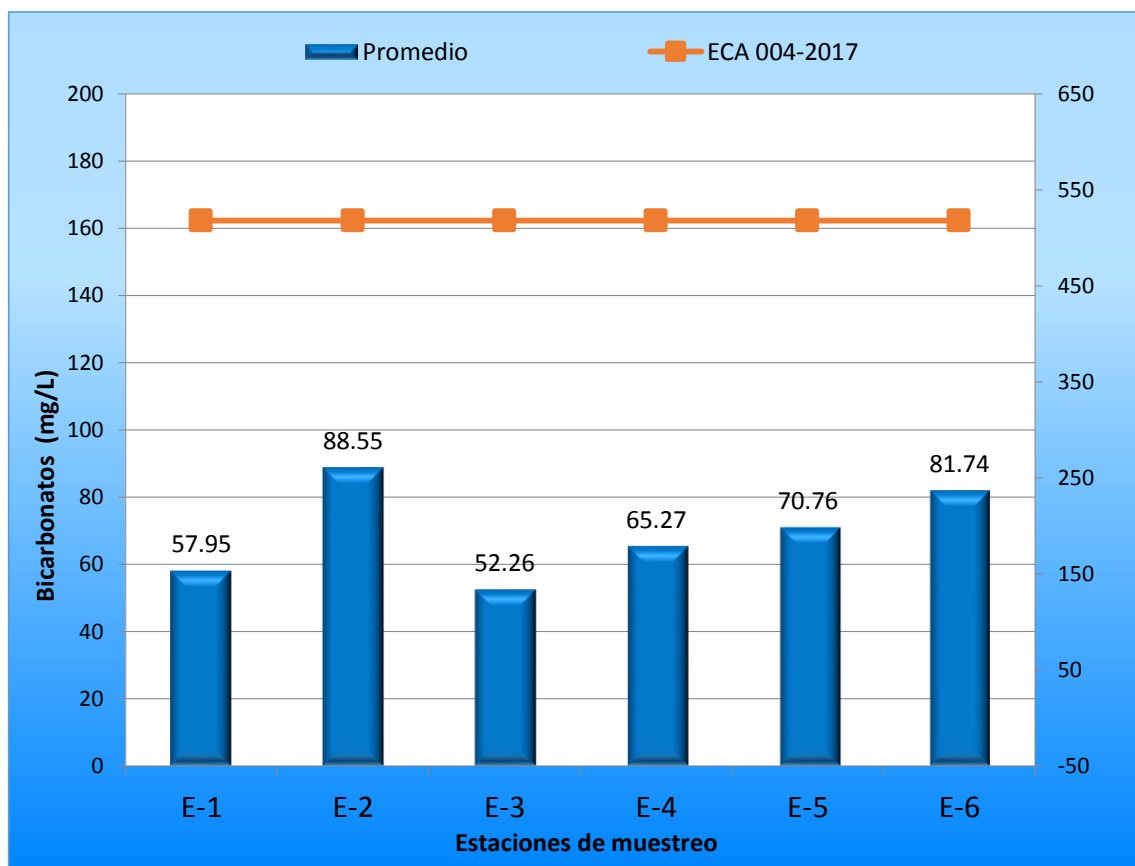


Figura 18. Valores promedio de bicarbonatos (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

CLORUROS

La presencia de cloruros como anión en el agua, se puede encontrar también en el suelo y atmósfera, por el uso de fertilizantes en la actividad agrícola, puede encontrarse como KCl. Es muy soluble, móvil, en cierto modo inerte, no precipita en las reacciones redox ni participa en la formación de complejos, en arcillas es uno de los aniones más desplazados por otros aniones, en suelos muy áridos permite la deposición de sodio como NaCl, se usa como elemento traza en el balance de materia en corrientes de agua, y en la medida de evapotranspiración.

En las estaciones denominadas estación El Pongo (E-5) se encontró el valor promedio de 31.79 mg/L, que corresponde el mínimo valor, mientras que en la estación Yatahual (E-4) se encontró el valor promedio más alto 39.14 mg/L, durante los meses de diciembre del 2018 a mayo del 2019 (Figura 19). Según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales, que corresponde el presente estudio, en todas las evaluaciones, y las diferentes estaciones no superaron el valor estándar (500 mg/L) para los cloruros (D.S. N°004-2017-MINAM). Los cloruros son compuestos solubles de cloro que permanecen solubles en el agua y no son alterados por procesos biológicos, incrementan el contenido de sólidos disueltos en el agua, es indicador de contaminación por aguas residuales.

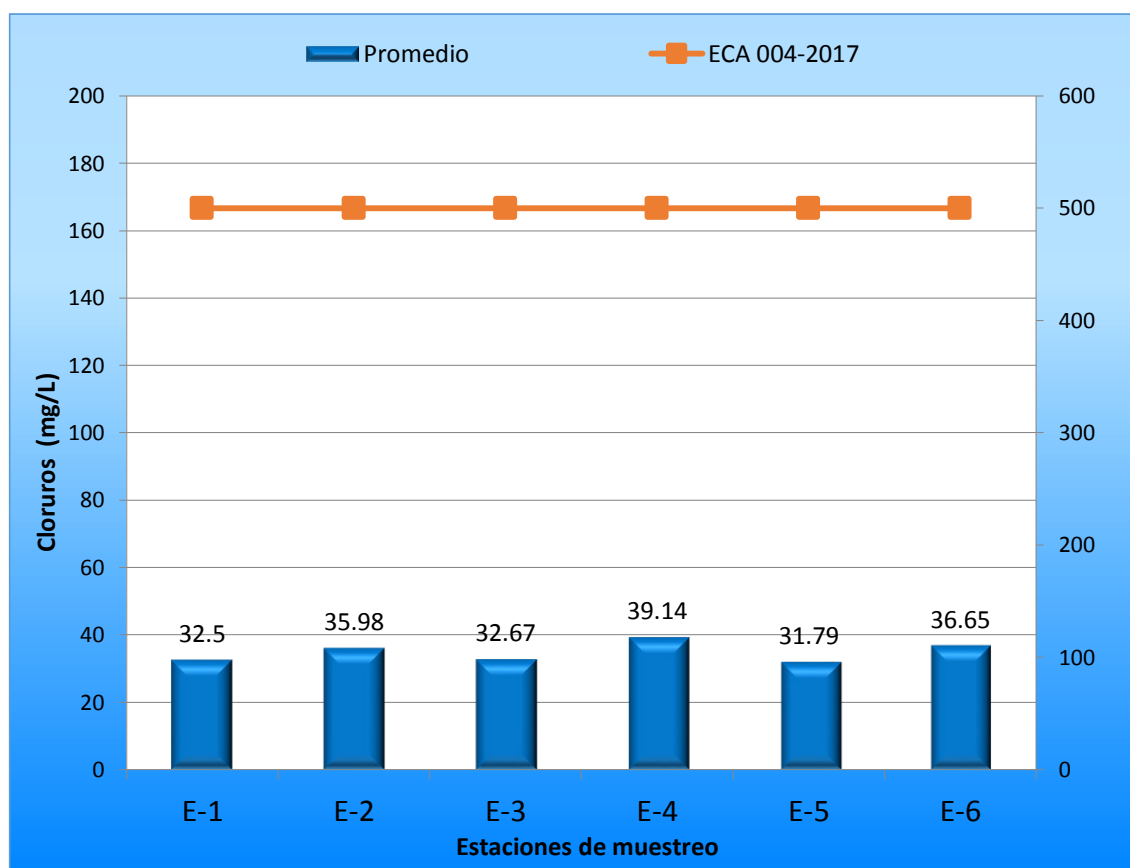


Figura 19. Valores promedio de cloruros (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

INDICE RAS

El índice RAS es usado para expresar la relación de absorción de sodio (Can-Chulim *et al.*, 2008), determina la relación entre los iones de sodio y los cationes de calcio y magnesio. En la Figura 20 se observa que el valor menor (1.744) se encontró en la estación Puente Kuntur Wasi (E-1), mientras que el mayor valor promedio (2.121), se encontró en la estación Puente Yonan (E-6). Los valores encontrados en todas las estaciones fueron valores menores a 3, según las normas de FAO (Ayers & Westcot, 1987), no existe ninguna restricción del uso de agua en la agricultura. Asimismo, Can-Chulim *et al.* (2014) encontró que la relación de absorción de sodio (RAS) con valores promedios de 1.0, en el estudio realizado en la calidad de agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México.

Es pertinente resaltar, que altas concentraciones de iones de sodio en las aguas de uso agrícola, afectaría la permeabilidad del suelo y causa problemas de infiltración. La presencia de sodio como ión es intercambiable por otros iones en el suelo. Los cationes calcio y magnesio forman parte de los complejos estructurales del suelo, generando una estructura de tipo granular adecuada para el desarrollo de los diversos cultivos. El incremento de las concentraciones de los iones de sodio desplazan el calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}), provocando la dispersión y desagregación de las partículas en el suelo. El suelo se torna fuerte y compacto en condiciones secas (baja humedad del suelo) y reduce la infiltración de agua y aire a través de los poros que conforman el suelo. Asimismo, el índice de absorción de sodio se relaciona con otros parámetros de evaluación como el grado de salinidad y clasificación de suelos.

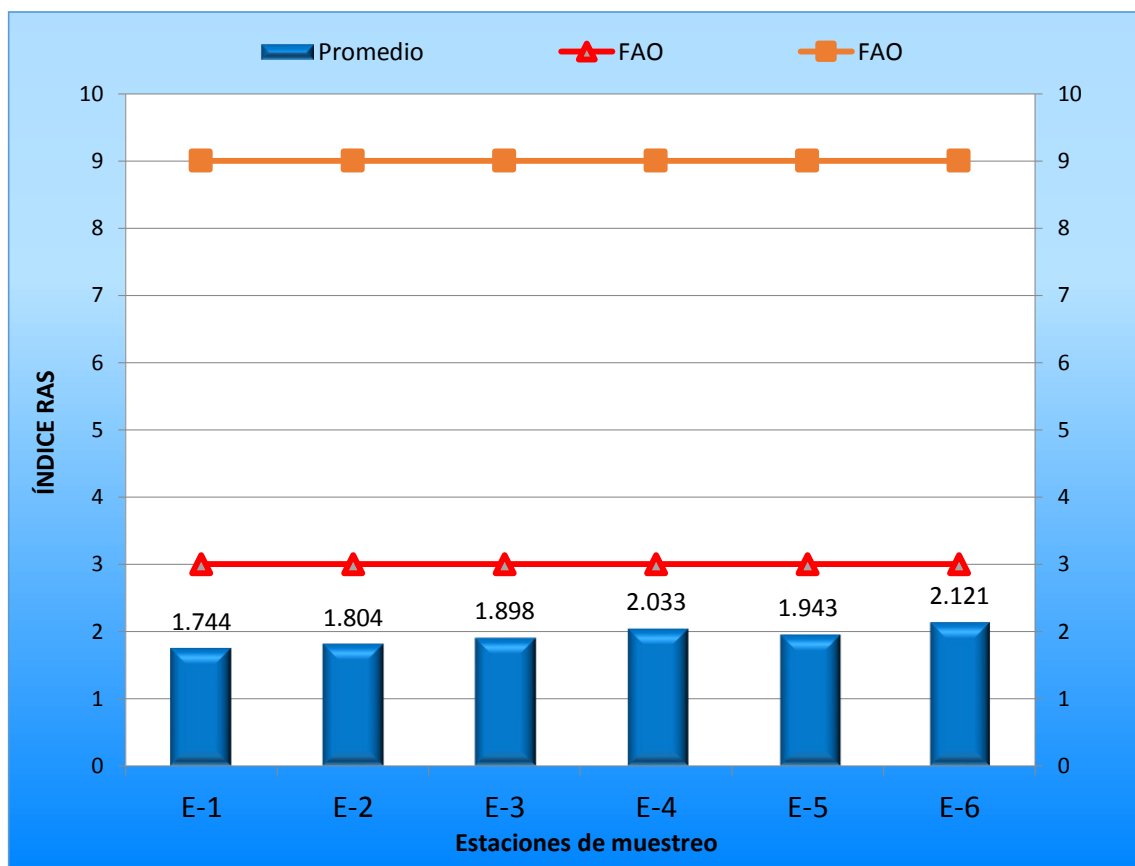


Figura 20. Valores promedio de índice RAS en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

METALES PESADOS

Castañé *et al.* (2003), citado por Salas (2014) clasificaron a los metales Pb, Hg, As, Cr, Ni y Zn como los causantes del mayor efecto toxicológico y ecotoxicológico en ambientes acuáticos; en tanto, Prieto *et al.* (2009), consideraron a Pb, Hg, Cd, As, Cr y Tl. Sin embargo, es pertinente mencionar que el cobre ($\text{Cu}^{1,2}$) es uno de los elementos esenciales que requieren las plantas y los animales, lo incorporan para las síntesis metabólica, y en altas concentraciones, el cobre tiene efecto citotóxico (Gaete *et al.*, 2007), mientras que los otros metales mencionados líneas arriba no tienen funciones metabólicas como el cobre, por lo que no son biodegradados y se bioacumulan

en los tejidos y podrían afectar el sistema nervioso central y/o llegar a ser cancerígeno.

Estudios realizados por Buenfil-Rojas & Flores-Cuevas (2007), en el río Hondo, ubicado a 69 kilómetros de la ciudad de Chetumal (México), se encontró la presencia de metales pesados arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), provenientes de efluentes de industria azucarera, así como el uso de fertilizantes y plaguicidas, cuyas descargas son vertidas directamente en el sistema de aguas residuales, que a su vez son evacuados en diferentes puntos a lo largo de la zona ribereña del río, próxima a la zona urbana. En el caso de cuenca Jequetepeque, existe pequeñas poblaciones y solo fueron detectados por evaluación en espectrómetro de absorción atómico plomo (Pb) y cadmio (Cd) (Figuras 21 y 22, respectivamente), los cuales se encuentran dentro de los valores, dados por los Estándares de calidad de agua D.S. N° 004-2017-MINAM

PLOMO

En la Figura 21 se observa los valores promedios para plomo (Pb) en las estaciones de muestreo, y en ningún caso supera el valor Estándar de Calidad de Agua (0.05 mg/L), según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales (D.S. N°004-2017-MINAM). El valor promedio encontrado, en todas las estaciones de monitoreo de la cuenca media del río Jequetepeque fue de 0.005 mg/L. El plomo no se encuentra en los cuerpos de agua en forma natural, proviene de contaminación por arsenato de plomo y asociado a otras sales, especialmente proveniente de efluentes mineros. El plomo se bioacumula en huesos, puede producir daño al sistema nervioso central, y por consumo prolongado de aguas contaminadas con plomo tiene efectos letales.

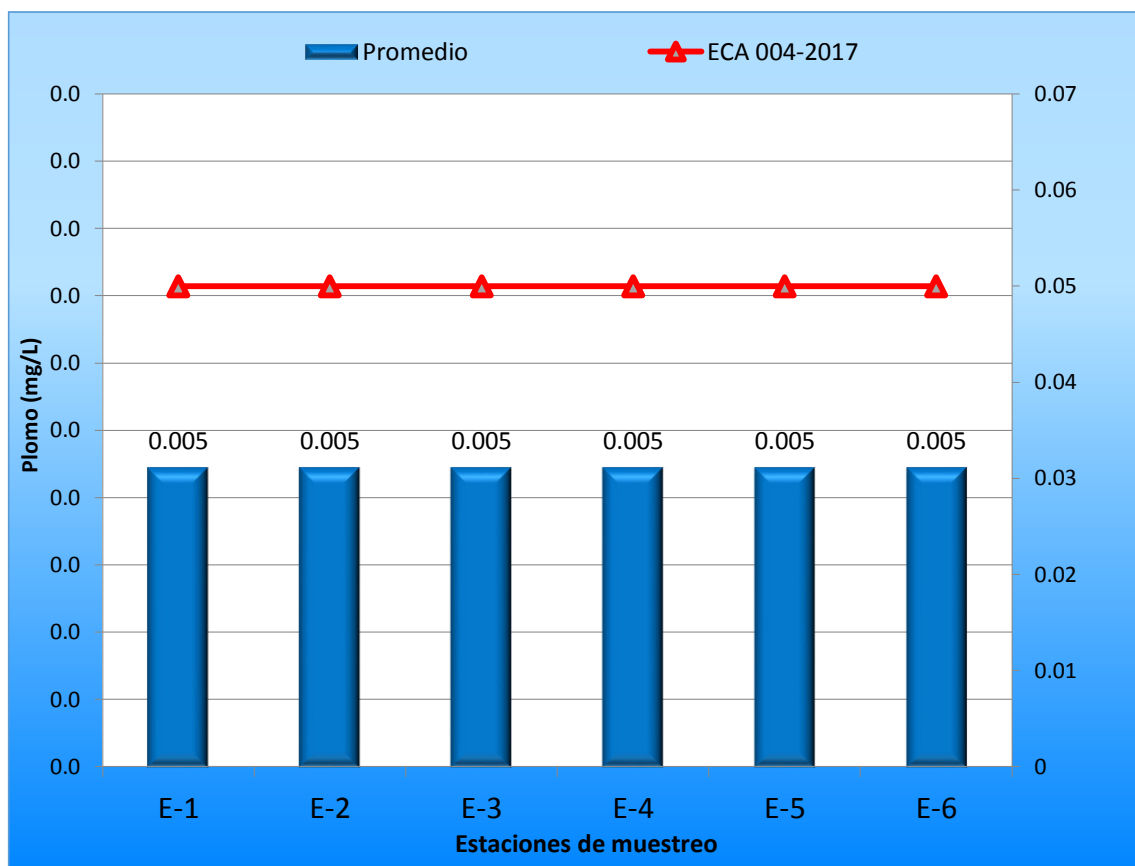


Figura 21. Valores promedio de plomo (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

CADMIO

En la Figura 22 se observa los valores promedios para cadmio (Cd) en las estaciones de muestreo, y en ningún de caso supera el valor Estándar de Calidad de Agua (0.01 mg/L), según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales (D.S. N°004-2017-MINAM). El valor promedio de cadmio (Cd) encontrado, en todas las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque fue de 0.001 mg/L. El cadmio es elemento metálico soluble en agua como los cloruros, nitratos y

sulfatos, poco común en aguas naturales. Además de causar náuseas y vómitos, se bioacumula en el hígado, páncreas, tiroides y riñones, se considera elemento cancerígeno. Su presencia en aguas por lo general proviene de contaminación con residuos de la industria de galvanoplastía. Buenfil-Rojas & Flores-Cuevas (2007) afirma que la contaminación del río Hondo por metales pesados (As, Cd, Pb y Hg) provienen de los ingenios azucareros, tales como el uso de plaguicidas y fertilizantes, así como las descargas directas de aguas residuales en diferentes puntos de la ribera y los residuos de la pequeña industria.

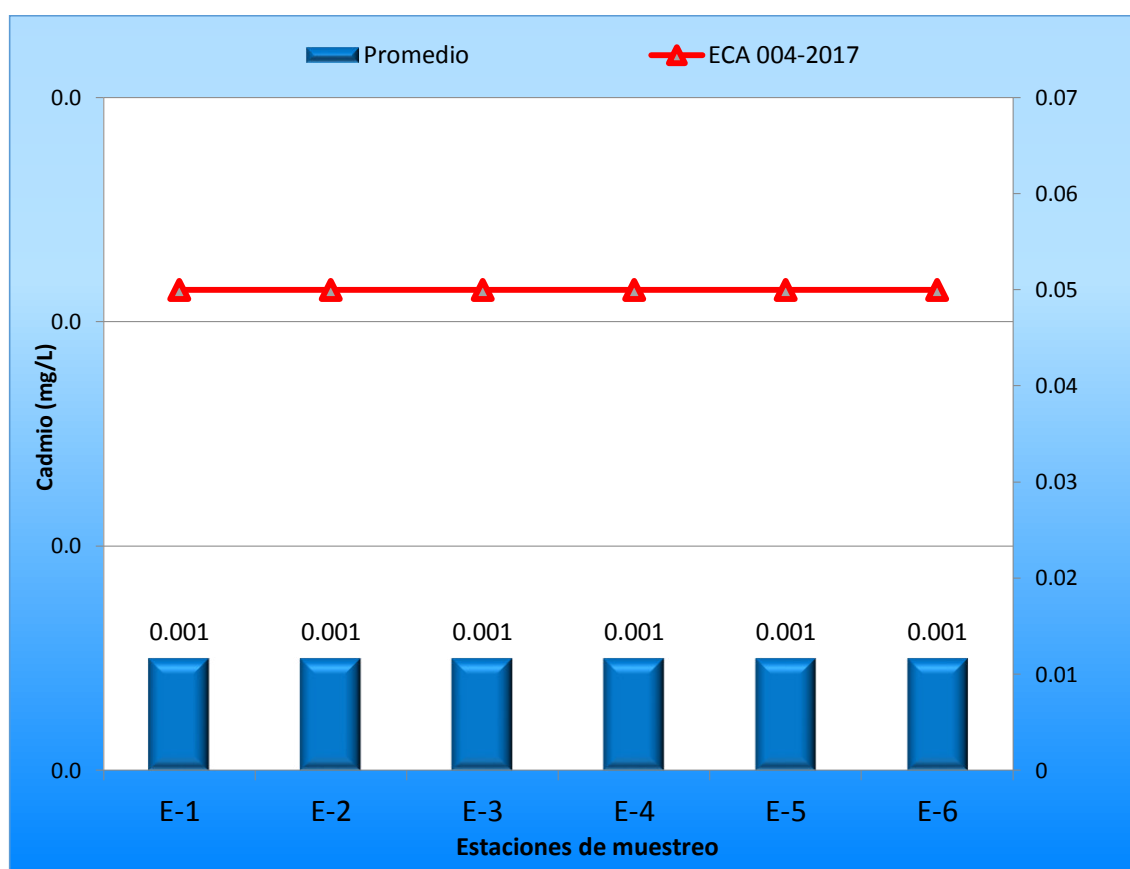


Figura 22. Valores promedio de cadmio (mg/L) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

FACTORES BIOTICOS EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO

COLIFORMES TOTALES

En la Figura 23, se presentan los valores promedios encontrados en las estaciones de muestreo durante los meses programados (diciembre del 2018 a mayo del 2019). La determinación de coliformes totales no ha sido considerada, según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales (D.S. N°004-2017-MINAM), cuyo parámetro fue considerado en D.S. N°002-2008-MINAM, sin embargo actualmente el mencionado decreto supremo fue derogado.

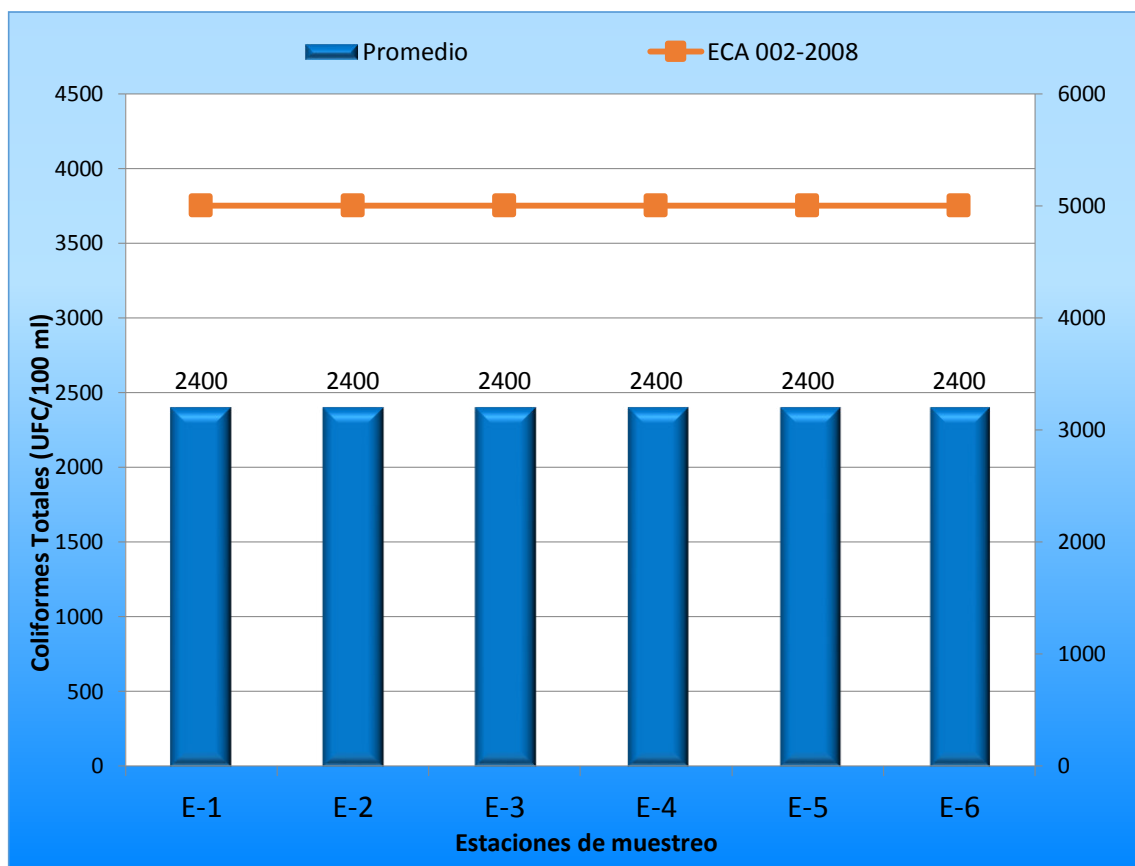


Figura 23. Valores promedio de coliformes totales (NMP/100ml) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

En la Figura 24, se presentan los valores promedios encontrados en las estaciones de muestreo durante los meses programados (diciembre del 2018 – mayo del 2019). La determinación de coliformes termotolerantes, en las seis estaciones de monitoreo, superó el valor estándar (1000 UFC/100 ml), según la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de Vegetales (D.S. N°004-2017-MINAM). Se encontró 2.4×10^3 UFC/100 ml y 1.1×10^3 UFC/100 ml, lo cual indica que sobrepasan los Estándares de Calidad de Agua.

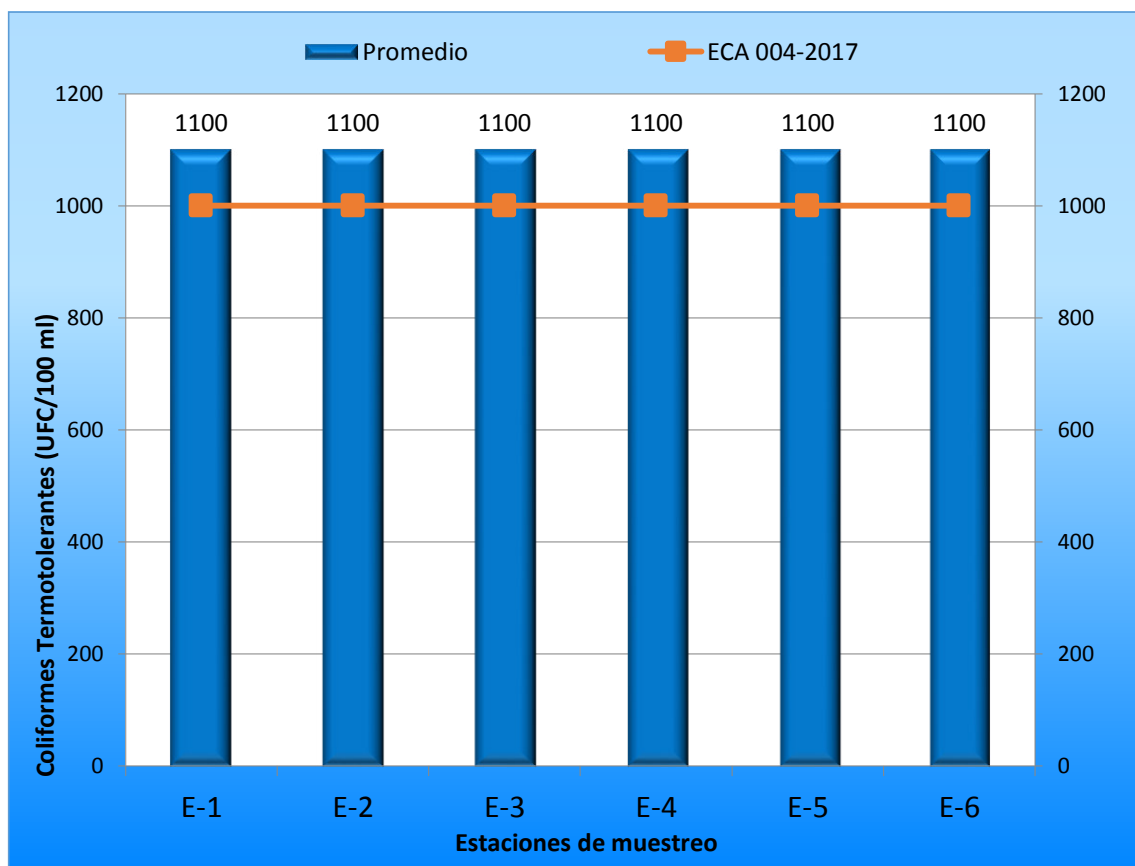


Figura 24. Valores promedio de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) en las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú

La temperatura, los sólidos totales disueltos, así como la materia orgánica, se encuentran en relación directa a la supervivencia y tasas de proliferación de los microorganismos, entre ellos los coliformes totales y termotolerantes, éstos últimos asociados a bacterias patógenas. Asimismo, es pertinente mencionar que en la zona de estudios se presentan pequeños centros poblados, cuyos vertimientos domésticos descargan directamente en la cuenca del río Jequetepeque, como consecuencia de ello se encontró que los coliformes termotolerantes superaron los Estándares de Calidad de Agua (ECA) para uso agrícola (D.S. N°004-2017-MINAM). Sin embargo estudios realizados por (Lessard & Sieburth, 1983; Rozen & Belkin, 2001; Cabral, 2010), afirman que

la temperatura no está relacionada a la supervivencia y proliferación de microorganismos, tal como lo demostraron Davies & Evison (1991), al no encontrar diferencias significativas en la tasa de supervivencia de *Salmonella montevideo* sometidas a temperaturas de 5, 15 y 25°C.

Sin embargo, es importante resaltar que la actividad agrícola aporta frecuentemente diferentes contaminantes (fertilizantes, pesticidas, agroquímicos en general), por lo que la evaluación y aprovechamiento del recurso hídrico en este estudio, se requiere tener en consideración otros aspectos, además de la evaluación de los parámetros cuantitativos (Söderbaum & Tortajada, 2011). Las aguas consideradas de retorno en el ciclo del agua (aguas de escorrentía y percolación), podrían presentar elevadas concentraciones de sales, materia orgánica y altos contenido en nutrientes (nitratos, nitritos y fosfatos), podrían provocar impactos negativos en el ambiente y en especial sobre las grandes masas de agua (superficiales o subterráneas), deteriorando la calidad de las aguas de ríos y acuíferos, de consumo humano, uso agrícola, conservación de recursos, entre otros (Thayalakumaran *et al.*, 2007). Por lo anteriormente expuesto, es preponderante identificar los problemas vinculados con las actividades generadas por el hombre y la emisión de efluentes conteniendo diversos contaminantes, a fin de establecer alternativas de solución que permitan la ejecución de estudios, aplicación de planes, programas y políticas para la gestión integrada de los recursos hídricos.

CONCLUSIONES

La calidad del agua de uso agrícola de la cuenca media del río Jequetepeque se encuentra dentro de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, D1: Riego de Vegetales, según los estándares de calidad ECA D.S. N°004-2017-MINAM. La disponibilidad hídrica (oferta y demanda) en la cuenca del río Jequetepeque se presentó durante los meses de febrero, marzo y abril, lo cual disminuyó entre los meses de mayo a julio, teniendo una mayor oferta al 75% de persistencia de 749.96 hm³, y oferta real de 142.35 hm³, en el mes de marzo del 2018. Mediante el coeficiente de correlación no paramétrica de Spearman se encontró $P < 0.05$. Asimismo con la prueba de distribución bivalente de Wilcoxon se encontró significancia asintótica de 0.638 y 0.53.

El índice de absorción de sodio (RAS) se encontró valores menores a 3, lo que indica que no es limitante para la actividad agrícola, puede usarse sin restricciones para los diferentes cultivos de la zona de estudio.

La calidad del agua de la cuenca es alterada moderadamente por las aportaciones o vertimientos de origen doméstico a lo largo de la cuenca. Es importante indicar que los valores promedios de coliformes termotolerantes, superaron los Estándares de Calidad Ambiental (D.S. N°004-2017-MINAM). La presencia de patógenos en los cuerpos de agua, se debe a descargas clandestinas, desechos domésticos e industriales, alterando la calidad del agua y limitando sus usos y causando riesgo de la salud en la población.

RECOMENDACIONES

Se debe realizar estudios de calidad de agua en las cuencas hidrográficas en el país, en especial agua para el riego de plantas y determinar el efecto potencial sobre la salud humana y de los ecosistemas.

Es necesario la determinación de la concentración de los metales pesados en los cuerpos de agua porque éstos tienen la capacidad de bioacumularse en las plantas, las cuales son la base de la cadena trófica. Determinar el estado ecológico de la cuenca, esto se refiere a la determinación de abundancia de flora y fauna acuática, el contenido de nutrientes, salinidad, temperatura y la presencia de contaminantes químicos. Asimismo tener en cuenta las características morfológicas, geológicas de la cuenca y su disponibilidad hídrica para los diversos usos.

Los estándares de Calidad de aguas D.S. N°002-2008-MINAM (derogado), sus valores límites son menores a los de D.S. N° 004-2017-MINAM, cuyos valores han ampliado sus márgenes, es decir, se puede verter efluentes con mayores valores para metales y no se estaría infringiendo las normas, debido a que se encontrarían dentro de los estándares permitidos. Los Estándares de Calidad de Aguas deben ser evaluados y deben preservar los recursos naturales, así como lograr el control y minimización de los contaminantes presentes, evitando la pérdida de la biodiversidad, asimismo conservar los ecosistemas.

La normatividad ambiental en especial los Estándares de Calidad Ambiental debe adecuarse y/o modificarse de acuerdo a las normas internacionales, logrando que éstas sean de tipo obligatoria y sancionadora, de tal forma que todas las empresas o industrias instaladas, cuyos vertimientos afecten el agua, suelo o atmósfera, deben ser sancionados y lograr el control y manejo de los efluentes.

Es necesario realizar trabajos de investigación que integren modelos hidrológicos y gestión integrada de cuencas hidrográficas, donde estas dos dimensiones permitan lograr la sustentabilidad en forma holística, permitiendo comprender y solucionar los problemas derivados del manejo del agua.

Planes, programas y/o proyectos a ejecutarse tienen que ser revisados exhaustivamente, los cuales deben tener estudios de impacto ambientales reales y desarrollados por instituciones serias, las cuales integren las normas ambientales, nacionales e internacionales.

Nuestro país muestra una gran vulnerabilidad ante las variaciones climáticas drásticas, teniendo como consecuencia no solo grandes pérdidas económicas durante el Evento El Niño, sino la pérdida de la disponibilidad hídrica, retroceso glacial, pérdida de la actividad primaria agrícola y pesquera producto del aumento de la temperatura del mar, pérdida de la biodiversidad y efectos sobre la salud humana. En tal sentido es necesario hacer una adecuada gestión del agua, brindando soluciones específicas, a través de la gestión integrada de cuencas hidrográficas (GIRH), identificando los actores de cuenca, y el gobierno debe establecer agenda política del agua, aunando esfuerzos con los científicos, los pobladores y todos los usuarios de la cuenca

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCAMO, J., P. DÖLL, T. HENRICHS, F. KASPAR, B. LEHNER, T. RÖSH & S. SIEBERT. 2003. Global estimates of water withdrawals and availability under current and future “business-as-usual” conditions. *Hydrological*, 48:339-348
- ALCAMO, J., M. FLÖRKE, & M. MÄRKER. 2007. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrol. Sci.* 37-41
- ÁLVAREZ, J.; RUBIÑOS, E.; GAVI, F.; ALARCÓN, J.; HERNÁNDEZ, E.; RAMÍREZ, C.; MEJÍA, E.; PEDRERO, F.; NICOLÁS, E. & SALAZAR, E. 2006. Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México. *Revista Internacional de Botánica experimental* 75:71-83
- ÁLVAREZ, J.; J. PANTA, C. AYALA & E. ACOSTA. 2008. Calidad integral del superficial en la cuenca hidrológica del río Amajac. *Información Tecnológica* 19(6):21-32
- APHA, AWWA, WEF. 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA). 2015. Actualización de Fuentes Contaminantes en la Cuenca Río Moche. Informe Técnico N°016-2015-ANA-AAA.HCH.SDGCRH/RELS. Nuevo Chimbote – Ancash, 22pp
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA). 2016. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos. Resolución Jefatural N° 010 - 2016 ANA. El Peruano. Normas Legales, de fecha 11 de enero 2016, 575300 y 575301pp
- AYERS, R.S. & D.W. WESTCOT. 1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura. Riego y Drenaje, Food Agriculture Organization of United Nations (FAO), Roma. 29(1):81
- AZZI, G. 1959. Ecología Agraria, Barcelona. Editorial Salvat, 449 pp

- BÁEZ, A. 1999. Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo. Monografía para optar el Grado académico de Especialista en Producción vegetal. Universidad Nacional de Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina. [Recuperado Setiembre 2017], pp.:1-53. Disponible en la World Wide Web: <http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/pdf/TesisBaez.pdf>
- BALMASEDA, C. & Y. GARCÍA. 2013. Calidad de las aguas de la Cuenca del río Naranjo, Municipio Majibacoa, provincial Las Tunas para el riego. Cultivos Tropicales. 34(4):68-73
- BEBBINGTON, A. 2009. "The New Extraction: Rewriting the Political Ecology of the Ande". NACLA Report of the Americas. 2009. Disponible en la World Wide Web: http://www.environment.sed.manchester.ac.uk/research/andes/publications/papers/Bebbing-ton_NACLAReport.pdf. Agosto 2014
- BEDREGAL, P., P. MENDOZA, M. UBILLUS, E. MONTOYA, R. AIRAS, L. BACA & W. FAJARDO. 2010. Evaluación de las aguas del río Rímac en Lima, Perú, utilizando el índice de calidad de agua (ICA). Informe Científico Tecnológico. IPEN, Perú, 13-19pp
- BERMEJILLO, A. L. MARTÍ, D. CÓNSOLI, C. SALCEDO, J. LLERA, A. VALDÉS, M. VERNIER & S. TROILO. 2011. Aptitud para riego del agua subterránea basada en la salinidad y sodicidad en las perforaciones realizadas entre 2004 y 2014 en los Oasis Norte y Centro de Mendoza. Rev. FCA. UNCUIYO, 44(2):221-240
- BONET, C. & M. RICARDO. 2011. Calidad de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(3):19-23
- BOWER, C.A., G. OGATA & J.M. TUCKER. 1968. Sodium hazard of Irrigation Water as influenced by Leaching Fraction and by Precipitation or Solution of Calcium Carbonate. Soil Science 106(1):29-34

- BUENFIL-ROJAS, M. & N. FLORES-CUEVAS. 2007. Determinación de metales pesados (As, Cd, Hg y Pb) presentes en el río Hondo, Quintana Roo. Memorias en extenso. VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales, Chihuahua, México, 435-439
- BRAUMAN, K.A., G.C. DAILY, T.K. DUARTE & H.A. MOONEY. 2007. The Nature and value of Ecosystem Services: an Overview Highlighting Hydrologic Services En: The Annual Review of Environmental and Resources, 32:67-98
- CABRAL, J. 2010. Water microbiology. Bacterial pathogens and wáter. Int. J. Environ. Res. Public. Health 7(10):3657-3703
- CAN-CHULIM, Á., C. RAMÍREZ-AYALA, M. ORTEGA-ESCOBAR, C. TREJO-LÓPEZ & J. CRUZ-DÍA. 2008. Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, estado de Hidalgo, México. Terra Latinoamericana, 26(3):243-252
- CAN-CHULIM, A., H.M. ORTEGA-ESCOBAR, E.I. SÁNCHEZ-BERNAL & E. CRUZ-CRESPO. 2014. Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México. Tecnología y Ciencias del Agua 5(5):77-96
- CARRASCAL, C., G. DENEGRI & M. DELGADO. 2013. Costos mínimos de compensación y cuantificación de la oferta hídrica en la cuenca alta del río Sauce Grande, Argentina. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 80:55-70
- CARRASCO-LETELIER L., BERETTA-BLANCO A., BASSAHÚN D., GARCÍA L., MUSSELLI R., OTEN R., TORRES D., TORRES O. & G. TELLECHEA 2015. Aptitud de la calidad del agua para uso agropecuario: riego y preparación de pesticidas. Revista Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay (INIA) N° 41:45-48.
- CASTAÑÉ, M., L. TOPOLIÁN, R. CORDERO & A. SALIBIÁN. 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados en el medio acuático como determinante de su toxicidad. Rev. Toxicol, 20:13-18

- CORTÉS-JIMÉNEZ, J.M., E. TROYO-DIÉGUEZ & E. MURILLO-AMADOR. 2009. Índices de calidad del agua del acuífero del valle del Yaqui Sonora. *Terra Latinoamericana*, 27 (2):133-141
- DAVIES, C. & L. EVISON. 1991. Sunlight and the survival of enteric bacteria in natural waters. *Journal of Applied Microbiology*, 3(70):265-274
- DOUROJEANNI, A.; JOURAVLEV, A. & CHAVEZ, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. División de Recursos Naturales e Infraestructura CEPAL, Santiago de Chile, pp. 88.
- DOUROJEANNI A. 2003. Marco analítico para el manejo integrado de recursos hídricos. Lineamientos para la evaluación de marcos institucionales. Banco Interamericano de Desarrollo.
- FIPPS, G. 2003. Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies College Stations, TX, Publication Number B-1667. Texas A & M Agrilife Extension. University System, College Station. Texas, USA, 20pp
- FRANCÉS, F. & G. BUSSI. 2014. Análisis del impacto del cambio climático en el ciclo de sedimentos de la cuenca del río Ésera (España) mediante un modelo hidrológico distribuido. *RIBAGUA*, 1:14-25
- GAETE, H., F. ARÁNGUIZ, G. CIENFUEGOS & M. TEJOS. 2007. Metales pesados y toxicidad de aguas del río Aconcagua en Chile. *Quim. Nova* 30(4):885-891
- GLOBAL ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM (GEMS). 1987. GEMS/WATER OPERATIONAL GUIDE. Prepared under the joint sponsorship of the United Nations Environmental Programme. World Health Organization, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Meteorological Organization, World Health Organization, Geneva. Italy, 450pp
- GONZÁLEZ-BARRIOS, J. L., U. CALDERÓN-VILLEGAS, M. CASTONERA, M.A. INZUNZA-IBARRA & E.A. CATALÁN-VALENCIA. 2014. Impacto de la salinidad del agua de riego en la calidad del fruto de chile jalapeño. *Agrofaz* 14(2):61-66

- GORGAS G., J., CARDIEL L., N. & ZAMORANO C.J. 2011. Estadística básica para estudiantes de Ciencias. Madrid. España. 16-34, 97-99
- GUERRERO, A.M. 2014. Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la cuenca del río Jequetepeque, Perú. *Sciend* 17(2):92-116
- GUERRERO, A.M. 2016. Análisis de calidad de agua de la cuenca hidrográfica Chicama, Perú. *Gestión Ambiental* 31:51-62
- GYAWALI, S., K. TECHATO, C. YUANGYAI & C. MUSIKAVONG. 2013. Assessment of Relationship between Land uses of Riparian Zone and Water Quality of River for Sustainable Development of River Basin, A case Study of U-Tapao River Basin, Thailand, *Procedia Environ. Sci.* 17:291-297
- HAKANSON, L., A. PARPAROV, A. OSTAPENIA, V. BOULION & K.D. HAMBRIG. 2000. Development of a system of water quality as a tool for management. Final report to INTAS, Uppsala University, Department of Earth Science: 19,7-11.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, M. 2010. Metodología de la Investigación. Quinta edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. México, 505pp. ISBN: 978-607-15-0291-9
- HINES, W. & D. MONTGOMERY. 1996. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración. 3era. Edición. Compañía Editorial Continental, S.a. de C.V. México, 850pp
- INSTITUTO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES (INRENA). 2003. Evaluación y ordenamiento de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Chicama. Hidrología. Estudio Hidrológico. Ministerio de Agricultura. INRENA. Perú, 119pp.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- JUAREZ, H. 2006. Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima metropolitana. Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú, pp. 88.

- JURINAK, J.J. & D.L. SUAREZ. 1990. The Chemistry of salt affected soils and water. In K.K. Tanji (Ed.). Agricultural Salinity Assessment and Management. New York, ASCE, 42-63pp
- KRETSCHMR, N., L. RIBBE & H. GAESE. 2002. Wastewater Reuse for Agriculture. Technology Resource Management and Development-Scientific Contribution for Sustainable Development: 2, 37-64
- LESSARD, E.J. & J. SIEBURTH. 1983. Survival of natural sewage populations of enteric bacteria in diffusion and batch chambers in the marine environment. Applied and Environmental Microbiology 45(3):950-959
- LEY DE RECURSOS HÍDRICOS N°29338. 2009. Ley de Recursos Hídricos N°29338, Título I: Disposiciones Generales, artículo 2°, Título III; Uso de los Recursos Hídricos, artículo 54°, 2-19pp
- LEY N°30640. Ley que modifica la Ley N°29338, Ley de Recursos Hídricos, mediante el establecimiento de los criterios técnicos para la identificación y delimitación de las cabeceras de cuenca. El Peruano, Normas Legales, Lima-Perú. 26 de agosto de 2017, 5 pp
- LINGASWAMY, M. & P.R. SAXENA. 2015. Water Quality of Fox Sagar Lake, Hyderabad, Telangana State, India, Its Suitability for Irrigation Purpose. Int. J. Adv. Res. Sci. Technol., 4(8):490-494.
- MANCILLA-VILLA, O., B. FREGOSO-ZAMORANO, E. HUESO-GUERRERO, R. GUEVARA-GUTIERREZ, C. PALOMERA-GARCÍA, J. OLGUÍN-LÓPEZ, H. ORTEGA-ESCOBAR, E. MEDINA-VALDOVINOS & H. FLORES-MAGDALENO. 2017. Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería, México, IDESA, 35(3):115-123
- MEDEIROS, A.C., K.R. FREITAS FAIAL, K.D. FREITAS FAIAL, I.D. DA SILVA LOPES, M. DE OLIVEIRA LIMA, R.M. GUIMARÃES & N.M. MENDONCA. 2017. Quality index of the Surface water of Amazonian rivers in industrial áreas in Pará, Brazil, Marine Pollution Bulletin, 123(1-2):156-164
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAG). 2005 .Manual de Hidrometría. Lima, Perú: INRENA, 28pp

- MINISTERIO DEL AMBIENTE-MINAM. 2015. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. El Peruano. Normas Legales. 19 de Diciembre 2015. 569076-569082
- MOR, F. & S. CEYLAN. 2008. Cadmium and lead contamination in vegetables collected from industrial, traffic and rural areas in Bursa Province, Turkey Food Additives & Contaminants: Part A, 25(5):611-615
- MORALES –DURÁN N., A. DE LA TORRE-GONZÁLEZ, V. GARCÍA-SÁNCHEZ & C. CHÁVEZ. 2018. Estudio de la calidad bacteriológica y parámetros fisicoquímicos del agua del Distrito de Riego 023. Tecnología y Ciencias del Agua, 9(1):53-67
- MUÑOZ, V., J. ÁLVAREZ & E. ASEDEGBEGA. 2016. Gestión y conservación de aguas y suelos. Imprenta Nacional de la AEBOE. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid-España. ISBN: 978-84-362-7161-4, 518pp
- MURGEL, S. 1984. Limnología Sanitaria, estudio de la polución de las aguas continentales, Monografía N°28, Universidad de Sao Paulo, Brasil, 120pp
- OCAMPO-DUQUE, W., C. OSORIO, C. PIAMBA, M. SCHUHMACKER & J. DOMINGO. 2013. Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: application to the Cauca River, Colombia, Envirom. Int. 52:17-28
- OLÍAS, M., J.C. CERÓN & I. FERNÁNDEZ. 2015. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). Geogaceta 37:111-113
- ORTEGA. 1966. La importancia de la Meteorología en el Perú. Boletín del Centro de Estudios Meteorológicos del Perú.
- ORTEGA, M.A., J.Z. CASTELLANOS, R. AGUILAR, A. VÁSQUEZ, E. ALANÍZ, C. VARGAS & F. URRUTIA. 2002. A conceptual model for increases of sodium, SAR, Alkalinity and pH at the Independence Aquifer in Guanajuato. Terra 20:199-207

- PALANCAR T. 2006. Compresibilidad y resistencia al corte de suelos salinizados y sodificados por irrigación. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Plata, La Plata Argentina.
- PAWAR, P.R. 2013. Monitoring of impact of anthropogenic inputs on water quality of mangrove ecosystem of Uran, Navi Mumbai, west coast of India, Mar. Polut. Bull. 75(1-2):291-300
- PELUSO, F., J. GONZÁLEZ, N. OTRAX & L. RODRÍGUEZ. 2011. Riesgo sanitario por sustancias tóxicas en aguas superficiales de Tres Arroyos, Argentina, Toxicología, Acta Bioquím Clín Latinoam 45(2):311-321
- PEÑA, H. 1993. Caracterización de la calidad de las aguas naturales y contaminación agrícola en Chile. En Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Anales de la Consulta de Expertos Organizada por la FAO. Santiago, Chile.
- PÉREZ, C. Métodos estadísticos avanzados con SPSS. Instituto de Estudios Fiscales. Thomson Editores Spain. Universidad Complutense, Madrid, España, 739pp. ISBN:84-9732-387-4
- PÉREZ, J., A. NARDINI & A. GALINDO. 2018. Análisis comparativo de Índices de calidad del agua aplicados al río Ranchería, La Guajira-Colombia. Información Tecnológica, 29(3):47-58
- PORRAS, I., M. GRIEG-GRAN & N. NEVES. 2008. All that glitters: a review of payments for watershed services in developing countries, London. U.K., vol 11
- POSADA, J.; G. ROLDÁN & J. RAMÍREZ. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedra Blancas, Antioquia. Colombia. Revista: Bioltrop V 48 (1) 0034-7744
- PRIETO, J., C GONZÁLEZ, A. ROMÁN & F. PRIETO. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10:29-44
- RANGETI, I., B. DZWAIRO, G. BARRATT & F. OTIENO. 2015. Ecosystem-specific water quality indices, African Journal of Aquatic Science, 40(3):227-234

- RASHIDI, M. & M. SEILSEPOUR. 2011. Prediction of Soil Sodium Adsorption Ratio Base on Soil Electrical Conductivity. Middle-East Journal of Scientific Research 8(2):379-383
- REINAUDI, N.; H. GRÉGOIRE, J. ROSIÉRE, D. NADAL & R. VIÑUELA. 1998. Calidad del Agua para Riego en Invernáculos de la Región Central de la Pampa. Facultad de Agronomía UNLPam. CC 300 6 300-Santa Rosa La Pampa. Argentina. [Citado 11 Setiembre 2017], 1-6pp. Disponible en la World Wide Web: <http://libnet.unse.edu.ar/5Con/Rhid/T/03021.PDF>
- RICHARDS, L.A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual. Sexta reimpresión. Editorial Limusa. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Laboratorio de Salinidad. México, 172pp
- RIVERA, N, F. ENCINA, R. PALMA Y P. MEJIAS. 2009. La calidad de las Aguas en el Curso Superior y Medio del Río Traiguén, IX Región-Chile. Información Tecnológica 20(4):75-84
- ROLDAN, J., M. DÍAZ, R. PÉREZ & M. MORENO.2010. Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina. 42(1):104-124
- ROMERO, J. 2013. Calidad del agua. 3era. Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia, 484pp ISBN 978-958-8060-83-5
- ROZEN, Y. & S. BELKIN. 2001. Survival of enteric bacteria in seawater. FEMS Microbiology Reviews 25(1):513-529
- SALAS, F. 2014. Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno-Perú. Instituto de Investigación de la Escuela de Posgrado-Universidad Nacional del Altiplano Puno-Peru. Rev. Inv. (Esc. Posgrado) 5(4):47-53

- SÁNCHEZ, D., J.A. BARBERÁ, M. MUDARRA & ANDREO. 2015. Hydrogeochemical tools applied to the study of carbonate aquifers: examples from some karst systems of Southern Spain. *Environmental Earth Sciences*, 74(1):199-215
- SARABIA-MELÉNDEZ, I.F., R. CISNEROS-ALMAZÁN, J. ACEVES-DE ALBA, H.M. DURÁN-GARCÍA & J. CASTRO-LARRAGOITIA. 2011. Calidad de agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México *Rev Int. Contam. Ambie.* 27(2):103-113
- SÖDERBAUM, P. & C. TORTAJADA. 2011. Perspectives for water management within the context of sustainable development. *Water International*, 36:7, 812-827
- SOLÍS, G.; ISRAEL, A.; NUBES G.; CASTILLO J. & MERAZ. F. 2011. Fisicoquímica del agua superficial y sedimento en el río Santa Cruz, Sonora. México. *Rev. BIOTECNIA* ISSN: 1665-1456, 9pp
- SUAREZ, D.L. 1981. Relation between pH and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an Alternative Method of Estimating SAR of Soil or Drainage Waters. *Soil Science Society America Journal* 45:464-475
- SUTADIAN, A.D., N. MUTTIL, A.G. YILMAZ & B.J.C. PERERA. 2016. Development of river water quality index-a review, *Environ. Monit. Assess*, 188,58
- THAYALAKUMARAN, T., M.G., BETHUNE & T.A. MCMAHON. 2007. Achieving a salt balance should it be a management objective?. *Agric. Water Manage*, 92, 1-12
- TYAGI, S., B. SHARMA, P. SINGH & R. DOBHAL. 2013. Water quality Assessment in Terms of Water Quality Index, *American Journal of Water Resources*, 1(3):34-38

UNIÓN EUROPEA. 2013. Normas de Calidad Ambiental aplicables a las Aguas superficiales (UE). Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de agosto de 2013 (citada 31 de diciembre de 2016). Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:001>

VAN VUUREN DP., M. ISAAC, ZW. KUNDZEWICZ, N. ARNELL, T. BARKER & P. CRIQUI. 2011. The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation. *Gob Environ Chan*, 21:575-591

VÁSQUEZ, A., A. MEJÍA, J. FAUSTINO, R. TERÁN, I. VÁSQUEZ, J. DÍAZ, C. VÁSQUEZ, A. CASTRO, M. TAPIA & J. ALCÁNTARA. 2016. Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Fondo Editorial-UNALM. ISBN:978-612-4147-55-5, 646pp

VELÁSQUEZ, M.A., M. ORTEGA, A. MARTÍNEZ, J. KOHASHI & N. GARCÍA. 2002. Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Terra* 20:459-464

VICENCIO DE LA ROSA, M.G., I. VILLANUEVA, M. PÉREZ & M. BURCIAGA. 2007. Índice de calidad del agua del río Mezquital de Durango. VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales. Ciudad de Chihuahua, México. ISSN: 0187-3296, 498-504pp

URTEAGA, P. Agua e industrias extractivas. 2011. Cambios y continuidades en los Andes. Instituto de Estudios Peruanos (IEP). Concertación. Perú, 302pp

ZHENG, H. 2017. Solar Energy Desalination Technology. Zheng, H. Editorial Elsevier, 784pp. eBook ISBN:9780128094228

Anexos

Ubicación de estaciones meteorológicas

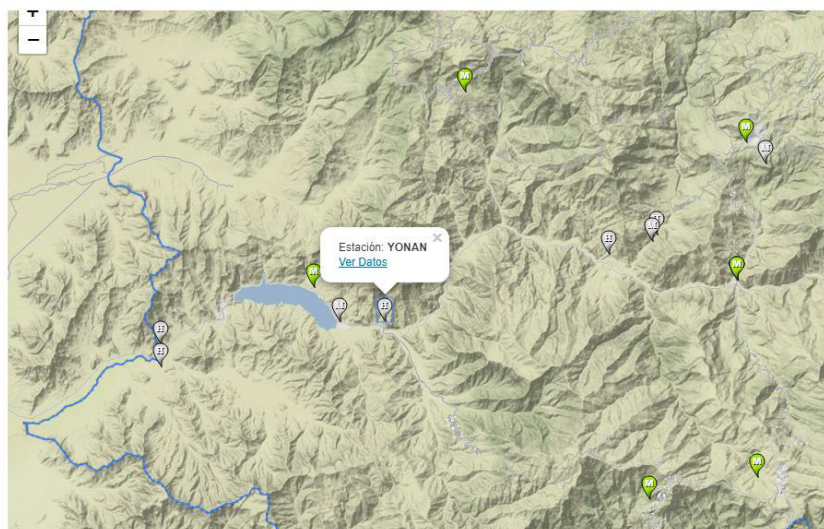


Figura. 25. Ubicación de estación meteorológica Yonan, La Libertad, Perú

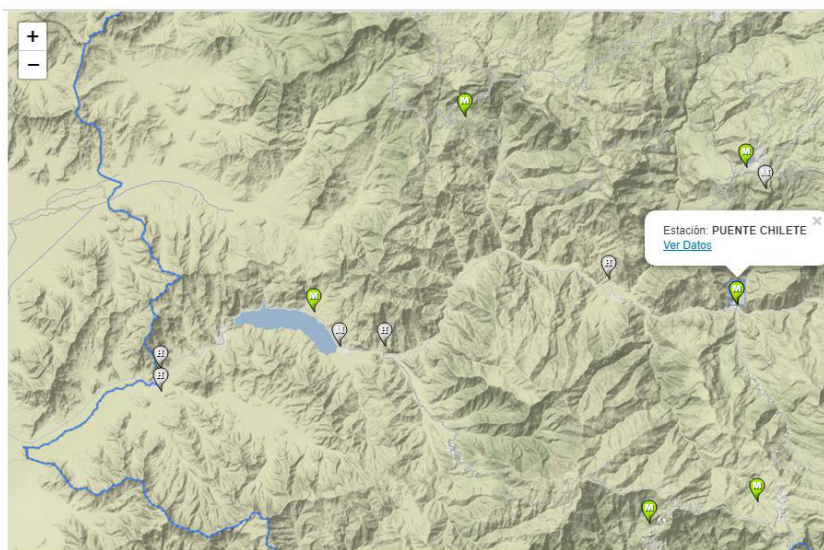


Figura 26. Ubicación de estación meteorológica Puente Chilete, La Libertad, Perú

Fotografías en la zona de estudio y laboratorio



Figura 27. Estación Puente Kuntur Wasi (E-1) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú



Figura 28. Estación Sector La Mónica (E-2) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú



Figura 29. Estación Sector La Capilla (E-3) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú



Figura 30. Estación Caserío Yatahual (E-4) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú



Figura 31. Estación Caserío El Pongo (E-5) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú



Figura 32. Estación Puente Yonan (E-6) en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú



Figura 33. Determinación de carbonatos (CO_3^{2-}) en el laboratorio de Ecología y Contaminación Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo

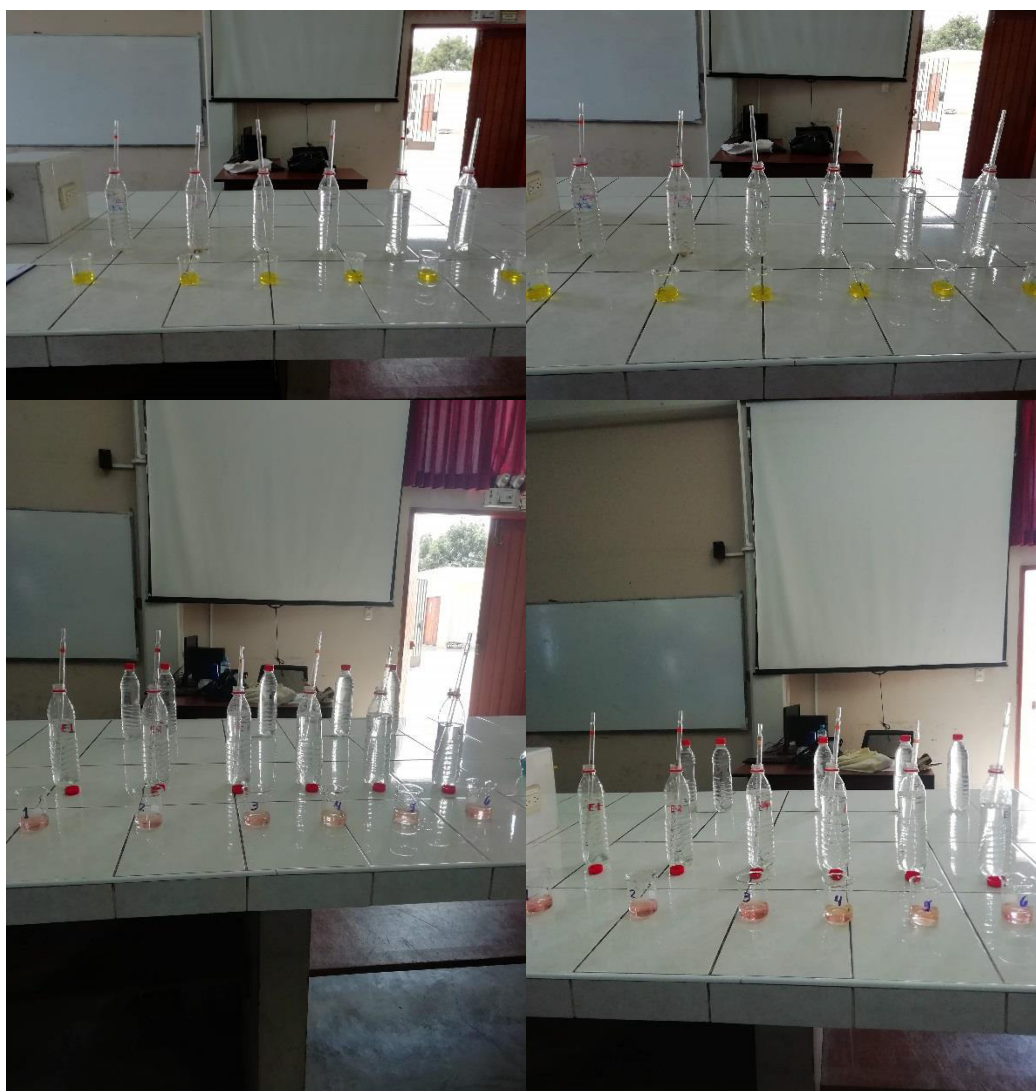


Figura 34. Determinación de bicarbonatos (HCO_3^{-1}) en el laboratorio de Ecología y Contaminación Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo



Figura 35. Determinación de cloruros (Cl^-) en el laboratorio de Ecología y Contaminación Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo



Figura 36. Determinación de coliformes totales y termotolerantes en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Trujillo



Figura 37. Equipos de laboratorio de los laboratorios de Ecología y de Microbiología de la Universidad Nacional de Trujillo A)estufa con cultivos de coliformes B)estufa C)horno D)autoclave



Figura 38. Equipos de campo marca HANNA multiparámetros para la determinación de pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos (A, B) y equipo para la determinación de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, presión atmosférica, temperatura (C, D)

Ubicación de las estaciones de muestreo de la cuenca media del río Jequetepeque, Perú